

FERNANDA FRANZOLIN

Conhecimentos básicos de Genética segundo professores e docentes e sua apresentação em livros didáticos e na academia: aproximações e distanciamentos

Tese apresentada à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Educação

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Orientador: Prof. Dr. Nelio Marco Vincenzo Bizzo

v.1

Versão corrigida

A versão original encontra-se na Biblioteca da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP

São Paulo

2012

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES  
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,  
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

Catálogo na Publicação  
Serviço de Biblioteca e Documentação  
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

---

375.25 Franzolin, Fernanda  
F837c Conhecimentos básicos de Genética segundo professores e docentes e sua  
apresentação em livros didáticos e na academia: aproximações e  
distanciamentos / Fernanda Franzolin; orientação Nelio Marco Vincenzo  
Bizzo. São Paulo: s.n., 2012.  
2 v. (v.1: 416 p. ils; grafs; tabs.); (v.2: anexos; apêndices; CD-ROM)

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de  
Concentração: Ensino de Ciências e Matemática) - - Faculdade de Educação da  
Universidade de São Paulo.

1. Genética (ensino) 2. Livro didático 3. Ensino médio I. Bizzo, Nelio  
Marco Vincenzo, orient.

---

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Fernanda Franzolin

Conhecimentos básicos de Genética segundo professores e docentes e sua apresentação em livros didáticos e na academia: aproximações e distanciamentos

Tese apresentada à Faculdade de Educação da  
Universidade de São Paulo para a obtenção do  
título de Doutor em Educação  
Área de Concentração: Ensino de Ciências e  
Matemática

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_



## **DEDICATÓRIA**

A Eva Neide e José Fernandes, meus pais, e a Ricardo Silvestre, meu noivo, aos quais só tenho a retribuir toda compreensão e apoio dedicados à concretização de mais essa etapa de minha formação acadêmica.



## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pela bolsa concedida.

À Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nelio Bizzo, pelas orientações e todo o apoio concedido para que este trabalho fosse realizado e as importantes contribuições para minha formação acadêmica.

À Professora Myriam Krasilchik, pelo cordial amparo e responsabilidade pelo projeto quando foi necessário.

Ao Mallinson Institute for Science Education, MISE, pela oportunidade do estágio de pesquisa no exterior.

Ao Prof. Dr. William Cobern, pela acolhedora estadia no MISE e por suas contribuições como supervisor do estágio de pesquisa no exterior.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lyria Mori e ao Prof. Dr. Paulo Takeo Sano, pelas valiosas considerações realizadas durante o exame de qualificação.

Às Prof.<sup>as</sup> Dr.<sup>as</sup> Maria Elena Infante Malaquias e Patricia Reeves e aos Profs. Drs. Alberto Villani e David Schuster, por terem tão bem me acolhido como aluna em suas disciplinas e terem favorecido o aprendizado de conhecimentos essenciais para a realização desta pesquisa.

A todas as instituições de ensino e seus funcionários que permitiram e facilitaram a realização das entrevistas, por terem tornado possível o contato com os entrevistados.

Ao Prof. Dr. Richard Lewontin e a todos os docentes e professores entrevistados, pela concessão das entrevistas, fundamentais para realização da presente pesquisa.

Aos colegas Ana Lucia Marques Britto, Ana Maria Yoshitake, Helenadja Mota Rios, Luiz Caldeira, Maíra Elias Manzano, Vanda Luiza dos Santos, e ao grupo de pesquisa Aprendendo Ciências com Tecnologia, pelo empréstimo dos livros didáticos analisados nesta pesquisa.

À Profa. Dr. Marcia Feters e Ao Prof. Dr. William Cobern, por responder minhas dúvidas sobre as políticas públicas relacionadas à adoção de livros didáticos no Estado de Michigan, ao currículo adotado no mesmo estado, e ao construtivismo contextual.

Aos Profs. Drs. Tracy DeMars, Steven Fryling, Mary Burke, Paul Vellom e Marcia Feters, por terem permitido assistir suas aulas na graduação na Western Michigan University, permitindo-me compreender como funciona a formação de professores nessa universidade e a educação no Estado de Michigan.

Aos funcionários da Seção de Alunos da Faculdade de Educação da USP, em especial ao Srs. Cláudio José de Souza Avila e Marcelo de Souza Ribeiro, e aos funcionários do Mallinson Institute for Science Education, Debra Stoyanoff e William Merrow, pela atenção a todas as solicitações.

À Elaine Minuci, Cecília Farhat, Marcus Estanislao, Denise Mendes e à equipe do Centro de Estatística Aplicada (IME-USP), em especial ao Prof. Dr. Carlos Alverto de Bragança Pereira, Prof. Dr. Viviana Giampaoli, Igor André Milhorança e Renato Tadashi Izawa pela assessoria estatística.

Ao Prof. Dr. Bruno Oliveira Maroneze, pela cuidadosa e paciente revisão desta tese.

Ao Prof. Dr. Paul Kretchmer, pela revisão do *abstract* dessa tese.

À Eva Neide Franzolin, Tânia Fernandes Franzolin e Ricardo Silvestre, pela releitura da transcrição das entrevistas.

Aos colegas Jacinta Mutambuki, Acácio Alexandre Pagan, Luiz Caldeira e a Pedro Henrique Kurtz Mattos pela ajuda na pesquisa sobre softwares relacionados à transcrição de entrevistas.

À Daniela Franzolin, Tânia Franzolin e Aaron Kelly, pelo todo apoio concedido com relação às transcrições e demais dúvidas referentes à língua inglesa.

À Tânia Franzolin, José Fernandes Franzolin e Ricardo Silvestre, pela paciência de me ajudarem durante o processo de digitalização do material analisado.

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências e Educação a Distância e do Mallinson Institute for Science Education, pelas ricas considerações realizadas sobre o presente trabalho.

Aos os colegas das disciplinas cursadas, que também apresentaram suas contribuições para o presente trabalho.

À Marcela Fejes, Ana Maria Santos Gouw, Ana Maria Yoshitake e Eliana Midori Morita por terem permitido a realização de parte dos créditos atividades no grupo Aprendendo com Tecnologia e pelas contribuições acadêmicas que serviram de base para esta pesquisa.

À Ana Maria Santos Gouw e Aparna Sharna, pelos textos sugeridos referentes aos tópicos desta pesquisa.

À Elaine, Eldy, Pamela, Gustavo e Gabriel Moura, por terem me acolhido tão bem em Michigan e pelas inúmeras ajudas que me concederam.

À Daniela Franzolin, por toda a ajuda anterior e durante as primeiras semanas da minha estadia em Michigan e pela também revisão do *abstract* dessa tese.

Ao Flávio Prudêncio pela grande paciência nos momentos em que a Dani esteve me auxiliando.

À Adriana Bauer, pela amigável companhia em Kalamazoo e pelos momentos em que me proporcionou ricas reflexões durante discussões referentes ao andamento da pesquisa.

À Betty Adams, por ter me recepcionado tão bem no MISE, pela companhia no escritório, pelas ajudas concedidas com relação à língua inglesa e pelas informações referentes às avaliações de alunos nos Estados Unidos.

A todos os colegas do Science and Mathematics Program Improvement (SAMPI) por serem tão acolhedores e pela alegre companhia durante minha estadia no MISE.

À Eva Neide Franzolin e José Fernandes Franzolin, por todo o apoio, paciência e por sempre estarem dispostos a me ajudarem sendo essenciais para que esse trabalho fosse realizado.

A Ricardo Silvestre, por toda paciência, carinho, ajuda e pela companhia, que presencial ou a distância foi fundamental para incentivar a realização desse trabalho.

## RESUMO

FRANZOLIN, F. Conhecimentos básicos de Genética segundo professores e docentes e sua apresentação em livros didáticos e na academia: aproximações e distanciamentos. 2012. 416 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

Apresentando dois objetivos, esta pesquisa procurou primeiramente identificar os conhecimentos básicos sobre Genética para a formação de cidadãos críticos no Ensino Médio, segundo professores deste nível de ensino e docentes universitários. Já o segundo objetivo consistia em verificar como, ao estarem presentes nos livros didáticos, esses conhecimentos considerados básicos se aproximam e se distanciam dos saberes acadêmicos. Essa investigação ocorreu em dois contextos: São Paulo (São Paulo - Brasil) e Kalamazoo (Michigan - Estados Unidos). Os conhecimentos de Genética são importantes para a compreensão das várias áreas da Biologia e por sua conexão com diversos aspectos do cotidiano dos indivíduos. Trata-se de uma área em expansão, gerando reflexões sobre quais de seus tópicos são importantes para serem ensinados no âmbito escolar. Já os livros didáticos são recursos que disponibilizam aos alunos conhecimentos dessa área, os quais requerem ao mesmo tempo uma transposição didática e um rigor com relação ao conhecimento produzido pela Ciência. Desse modo, entrevistaram-se professores que lecionam Biologia no Ensino Médio e docentes que lecionam disciplinas relacionadas à Genética e Biologia Molecular nas universidades (Universidade de São Paulo e Western Michigan University). Os dados foram analisados quantitativamente e qualitativamente. Nos livros, foram analisados os conteúdos *Meiose*, *Leis de Mendel* e *Expressão gênica*, procurando comparar os conhecimentos desses materiais com os conhecimentos de uma bibliografia de referência. Para a adoção dessa bibliografia de referência como representante do conhecimento produzido pela academia, tomaram-se alguns cuidados, tais como a consideração de sua transposição didática e a entrevista de um dos autores da principal obra adotada, o Prof. Dr. Richard Lewontin, sobre seu processo de elaboração. A metodologia de análise considerou tanto a importância do rigor do conhecimento presente nos livros didáticos com relação ao conhecimento científico, como a necessidade de transposição didática. Segundo os resultados, houve conteúdos mais preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de ambos os contextos, tais como: *Padrões de herança (Leis de Mendel)*, *Divisão celular*, *Genética Molecular (DNA, Expressão gênica)*, *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* e *Gene*. Evidenciou-se também

uma polêmica a respeito do ensino de Biotecnologia como básico, questionado por alguns entrevistados. Para muitos entrevistados, os conteúdos considerados como básicos são importantes para que os alunos compreendam informações recebidas em seu cotidiano e a expressão de suas próprias características. Entretanto, para tais objetivos, questiona-se aqui se não seria importante mais ênfase em conteúdos relacionados à expressão de características complexas. Nos livros analisados, verificou-se que a frequência relativa de aproximações com relação ao conhecimento de referência era superior aos distanciamentos, sendo para esse último de 0,081 na amostra brasileira e 0,085 na amostra estadunidense. A maioria dos distanciamentos encontrados refere-se a generalizações da ocorrência de determinadas informações e incide em detalhes apresentados pelos autores a respeito do conteúdo. Espera-se que a identificação de tais distanciamentos possa contribuir para o aprimoramento da transposição didática relacionada a tais conhecimentos.

Palavras-chave: ensino de Genética, currículo, livro didático, transposição didática

## ABSTRACT

FRANZOLIN, F. Basic Genetics knowledge for high school students according to teachers and professors and its presentation in textbooks and in reference sources: laxity and rigor. 2012. 416 p. Thesis (Doctoral). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

This research had two main objectives. First, we aimed to identify basic Genetics topics that high school students need to become critical citizens, according to their teachers and university professors. Second, we aimed to determine how close textbook knowledge is to canonical knowledge of these topics. This study was conducted in two sites: São Paulo (São Paulo, Brazil) and Kalamazoo (Michigan, United States). Understanding Genetics is important for understanding other fields in Biology; moreover, Genetics is connected to many everyday issues. Knowledge in Genetics is constantly expanding; this generates reflection on the most important topics to teach. Textbooks are a didactical resource for teaching knowledge in genetics; but, at the same time, they require both didactical transposition and rigorous adherence to scientific knowledge. Thus, the current study interviewed high school teachers of Biology and University professors of Genetics and Molecular Biology (University of São Paulo and Western Michigan University). Data analysis was based on qualitative and qualitative methods. The presentation of knowledge on three topics: *Meiosis*, *Mendel's laws*, and *Gene expression topics*, was analyzed by comparing high school textbooks to a bibliography of references. We adopted this bibliography of references as a representative of canonical knowledge, with some precautions. For example, we considered its didactical transposition, and we interviewed one of the authors of the main reference book adopted, Dr. Richard Lewontin, to clarify its elaboration procedures. In the textbook analysis, we considered the importance of rigor in scientific knowledge and the necessity of didactic transposition. Our results showed that a specific group of topics was preponderantly considered basic by interviewees in both contexts. These topics were: the *Patterns of inheritance*, *Cell division*, *Molecular Genetics (DNA, Gene expression)*, *Biotechnology*, and *Genes*. We also showed that teaching Biotechnology was controversial among interviewees. Many interviewees said that the topics they considered basic were important for students to understand information received in their everyday life and the expression of their own traits. However, to that end, we questioned whether it would not be important to place more emphasis on topics related to the expression of complex traits. The arguments presented in the

interviews gave rise to reflections on the justification for teaching some topics. In the textbook analysis, the results showed that the relative frequency of approximations to the reference knowledge was higher than the relative frequency of differences from the reference knowledge. The frequencies of differences were almost the same in both contexts: 0.081 in Brazilian textbooks and 0.085 in American textbooks. The majority of differences occurred because some of the specific details related to the topics were omitted in the textbooks; however this did not change the main ideas. The identification of these differences may be useful for improving the didactic transposition of knowledge in Genetics.

**Keywords:** Genetics education, curriculum, textbooks, didactic transposition

## **LISTA DE CÓDIGOS ADOTADOS PARA OS ENTREVISTADOS**

- DB1 Docente brasileiro entrevistado 1
- DB2 Docente brasileiro entrevistado 2
- DB3 Docente brasileiro entrevistado 3
- DB4 Docente brasileiro entrevistado 4
- DB5 Docente brasileiro entrevistado 5
- DB6 Docente brasileiro entrevistado 6
- DE1 Docente estadunidense entrevistado 1
- DE2 Docente estadunidense entrevistado 2
- DE3 Docente estadunidense entrevistado 3
- DE4 Docente estadunidense entrevistado 4
- DE5 Docente estadunidense entrevistado 5
- DE6 Docente estadunidense entrevistado 6
- PB1 Professor brasileiro entrevistado 1
- PB2 Professor brasileiro entrevistado 2
- PB3 Professor brasileiro entrevistado 3
- PB4 Professor brasileiro entrevistado 4
- PB5 Professor brasileiro entrevistado 5
- PB6 Professor brasileiro entrevistado 6
- PE1 Professor estadunidense entrevistado 1
- PE2 Professor estadunidense entrevistado 2
- PE3 Professor estadunidense entrevistado 3
- PE4 Professor estadunidense entrevistado 4
- PE5 Professor estadunidense entrevistado 5
- PE6 Professor estadunidense entrevistado 6



## LISTA DE CÓDIGOS ADOTADOS PARA OS LIVROS DIDÁTICOS

- LDA AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Biologia**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2005.
- LDB ADOLFO, A.; CROZETTA, M.; LAGO, S. **Biologia**. 2. ed. São Paulo: IBEP, 2005.
- LDC FAVARETTO, J. A.; MERCADANTE, C. **Biologia**. São Paulo: Moderna, 2005.
- LDD FROTA-PESSOA, O. **Biologia**. São Paulo: Scipione, 2005.
- LDE LAURENCE, J. **Biologia**. São Paulo: Nova Geração, 2005.
- LDF LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. **Biologia**. São Paulo: Ática, 2005.
- LDG LOPES, S.; ROSSO, S. **Biologia**. São Paulo: Saraiva, 2005.
- LDH PAULINO, W. R. **Biologia**. São Paulo: Ática, 2005.
- LDI SILVA JÚNIOR, C. da; SASSON, S. **Biologia**. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- LDJ POSTLETHWAIT, J. H.; HOPSON, J. L. **Modern Biology**. Orlando, Austin, New York, San Diego: Holt, Rinehart and Winston, 2009.
- LDK BIGGS, A. *et al.* **Biology**. New York, Columbus, Chicago, Woodland Hills: Glecoe, 2009.
- LDL MILLER, K. R.; LEVINE, J. **Biology**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2008.
- LDM JOHNSON, G. B.; HAVEN, P. H. **Biology**. Orlando, Austin, New York, San Diego: Holt, Rinehart and Winston, 2006.



## SUMÁRIO RESUMIDO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>35</b>
1.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS .....	36
1.1.1 A importância do conhecimento científico para o ensino de Ciências .....	37
1.1.2 Os conhecimentos de Genética e a importância de refletir sobre <i>o que é ensinado</i> .....	43
1.2 AS PESQUISAS SOBRE ENSINO DE GENÉTICA, CURRÍCULO E LIVRO DIDÁTICO.....	50
<b>2 CONTEÚDOS BÁSICOS PARA OS ALUNOS DE ENSINO MÉDIO SEGUNDO PROFESSORES E DOCENTES</b> .....	<b>63</b>
2.1 METODOLOGIA .....	63
2.1.1 Os contextos da pesquisa .....	63
2.1.2 Composição da amostra de entrevistados e contatos.....	67
2.1.3 Planejamento e condução da entrevista .....	72
2.1.4 Transcrição das entrevistas .....	75
2.1.5 Metodologia da análise dos dados .....	76
2.2 RESULTADOS .....	94
2.2.1 Parte 1. Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos: sem intervenções.....	94
2.2.2 Justificativas sobre cada um dos conteúdos mais preponderantemente mencionados.....	106
2.2.3 Divergências quanto ao ensino de tópicos ligados à Biotecnologia .....	140
2.3 DISCUSSÃO .....	161
<b>3 APROXIMAÇÕES E DISTANCIAMENTOS ENTRE OS CONTEÚDOS DE GENÉTICA DOS LIVROS DIDÁTICOS E DA BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA</b> .....	<b>185</b>
3.1 METODOLOGIA .....	185
3.1.1 Os livros didáticos nos contextos da pesquisa.....	185
3.1.2 Seleção e obtenção da amostra de livros didáticos a serem analisados.....	189
3.1.3 A bibliografia de referência .....	191
3.1.4 Conteúdos analisados.....	203
3.1.5 Metodologia de análise.....	206
3.1.6 Descrição da metodologia de validação da amostra selecionada.....	212
3.2 RESULTADOS .....	213
3.2.1 Divisão celular – Meiose .....	214

<b>3.2.2 Padrões de Herança: Primeira lei de Mendel .....</b>	<b>260</b>
<b>3.2.3 Padrões de Herança: Segunda lei de Mendel.....</b>	<b>280</b>
<b>3.2.4 Expressão Gênica (Síntese proteica) .....</b>	<b>297</b>
<b>3.2.5 Categorias de distanciamientos encontradas e suas implicações.....</b>	<b>374</b>
<b>3.2.6 Resultados da validação da <i>amostra selecionada</i> .....</b>	<b>382</b>
<b>3.2.7 Análise quantitativa dos distanciamientos encontrados .....</b>	<b>385</b>
<b>3.3 DISCUSSÃO .....</b>	<b>392</b>
<b>4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>399</b>

## SUMÁRIO EXPANDIDO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>35</b>
1.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS .....	36
<b>1.1.1 A importância do conhecimento científico para o ensino de Ciências</b> .....	<b>37</b>
<b>1.1.2 Os conhecimentos de Genética e a importância de refletir sobre o que é ensinado</b>	<b>43</b>
1.2 AS PESQUISAS SOBRE ENSINO DE GENÉTICA, CURRÍCULO E LIVRO DIDÁTICO.....	50
<b>2 CONTEÚDOS BÁSICOS PARA OS ALUNOS DE ENSINO MÉDIO SEGUNDO PROFESSORES E DOCENTES</b> .....	<b>63</b>
2.1 METODOLOGIA .....	63
<b>2.1.1 Os contextos da pesquisa</b> .....	<b>63</b>
<b>2.1.2 Composição da amostra de entrevistados e contatos</b> .....	<b>67</b>
2.1.2.1 Amostra de São Paulo – São Paulo (SP) .....	67
2.1.2.1.1 Amostra de professores de São Paulo .....	67
2.1.2.1.2 Amostra de docentes de São Paulo .....	68
2.1.2.2 Amostra de Kalamazoo – Michigan (MI).....	69
2.1.2.2.1 Amostra de professores .....	70
2.1.2.2.2 Amostra de docentes .....	72
<b>2.1.3 Planejamento e condução da entrevista</b> .....	<b>72</b>
<b>2.1.4 Transcrição das entrevistas</b> .....	<b>75</b>
<b>2.1.5 Metodologia da análise dos dados</b> .....	<b>76</b>
2.1.5.1 Organização inicial dos dados e observações levantadas durante o processo de imersão nos dados.....	77
2.1.5.2 Codificação dos dados .....	78
2.1.5.3 Desenvolvimento de categorias .....	79
2.1.5.3.1 Geração da Tabela de Categorias e Justificativas .....	80
2.1.5.4 Geração da Tabela de Menções e Inclusões .....	80
2.1.5.4.1 Inclusão de categorias .....	82
2.1.5.5 Divisão dos dados por grupos de entrevistados .....	84
2.1.5.6 Análise dos dados mencionados com intervenção e dos dados mencionados sem intervenção .....	85
2.1.5.7 Análise quantitativa .....	85

2.1.5.8	Desenvolvimento de classes de categorias de conteúdos de acordo com a preponderância das menções .....	86
2.1.5.9	Comparação dos dados .....	89
2.1.5.9.1	1ª. Etapa: identificação dos conteúdos preponderantemente mencionados como básicos.....	90
2.1.5.9.2	2ª. Etapa: Análise das justificativas dos entrevistados e consideração dos memorandos analíticos.....	92
2.1.5.9.3	3ª. Etapa: Análise da polêmica em torno de um conteúdo específico: <i>Aplicações da Genética (Biotecnologia)</i> .....	93
2.1.5.10	Considerações sobre os dados coletados e analisados.....	93
2.2	<b>RESULTADOS</b> .....	94
2.2.1	<b>Parte 1. Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos: sem intervenções</b> .....	94
2.2.1.1	Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos dentro dos grandes grupos (entrevistados de São Paulo e entrevistados de Kalamazoo) .....	95
2.2.1.2	Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos dentro dos subgrupos professores e docentes.....	105
2.2.2	<b>Justificativas sobre cada um dos conteúdos mais preponderantemente mencionados</b> .....	106
2.2.2.1	Padrões de Herança .....	107
2.2.2.2	Genética Molecular .....	123
2.2.2.3	Divisão celular .....	133
2.2.3	<b>Divergências quanto ao ensino de tópicos ligados à Biotecnologia</b> .....	140
2.3	<b>DISCUSSÃO</b> .....	161
3	<b>APROXIMAÇÕES E DISTANCIAMENTOS ENTRE OS CONTEÚDOS DE GENÉTICA DOS LIVROS DIDÁTICOS E DA BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA</b> .	185
3.1	<b>METODOLOGIA</b> .....	185
3.1.1	<b>Os livros didáticos nos contextos da pesquisa</b> .....	185
3.1.2	<b>Seleção e obtenção da amostra de livros didáticos a serem analisados</b> .....	189
3.1.2.1	A amostra selecionada no contexto brasileiro .....	190
3.1.2.2	A amostra selecionada no contexto estadunidense .....	190
3.1.2.3	Validação da amostra analisada: anúncio .....	191
3.1.3	<b>A bibliografia de referência</b> .....	191
3.1.3.1	Levantamento da bibliografia de referência .....	191

3.1.3.2	A bibliografia de referência e sua função na avaliação dos distanciamentos.....	192
3.1.3.3	Estudo crítico da bibliografia de referência adotada .....	193
3.1.3.4	Entrevista com um dos autores da principal bibliografia de referência .....	196
3.1.3.4.1	Resultados da análise da entrevista.....	197
<b>3.1.4</b>	<b>Conteúdos analisados.....</b>	<b>203</b>
3.1.4.1	Delimitação da área de análise dentro dos livros .....	203
<b>3.1.5</b>	<b>Metodologia de análise.....</b>	<b>206</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Descrição da metodologia de validação da amostra selecionada.....</b>	<b>212</b>
3.2	RESULTADOS .....	213
<b>3.2.1</b>	<b>Divisão celular – Meiose .....</b>	<b>214</b>
3.2.1.1	Meiose como divisão celular .....	214
3.2.1.2	Meiose como divisão nuclear.....	215
3.2.1.3	Na meiose ocorre a redução do número de cromossomos.....	215
3.2.1.4	A meiose ocorre no ciclo de vida de organismos.....	216
3.2.1.5	Meiose: Formação de células sexuais .....	216
3.2.1.6	A meiose ocorre em organismos que possuem reprodução sexuada .....	217
3.2.1.7	A meiose ocorre nas estruturas reprodutivas dos organismos .....	218
3.2.1.8	A meiose ocorre em células germinativas .....	219
3.2.1.9	A meiose ocorre em células diploides e forma células haploides .....	219
3.2.1.10	Células produzidas na meiose podem se juntar posteriormente, formando um organismo com um conjunto completo de cromossomos (diploide) .....	220
3.2.1.11	A replicação cromossômica antecede a meiose .....	220
3.2.1.12	Os centrômeros não se dividem durante a primeira divisão da meiose.....	223
3.2.1.13	Os cromossomos replicados possuem duas cromátides-irmãs .....	223
3.2.1.14	Os centríolos são duplicados na intérfase.....	224
3.2.1.15	A meiose apresenta duas divisões celulares .....	224
3.2.1.16	Cromátides-irmãs encontram-se unidas pelo centrômero no início da meiose .....	225
3.2.1.17	Os cromossomos homólogos se unem, realizando a sinapse.....	225
3.2.1.18	A sinapse dos cromossomos homólogos acontece uma única vez na meiose .....	226
3.2.1.19	Bivalente é uma unidade composta por dois cromossomos homólogos replicados em sinapse.....	227
3.2.1.20	As quatro cromátides dos homólogos replicantes em sinapse formam uma tétrade	227
3.2.1.21	Os cromossomos condensam-se.....	228
3.2.1.22	Durante a sinapse ocorre o <i>crossing over</i> ou permutação .....	229

3.2.1.23 Durante o <i>crossing over</i> as cromátides se entrecruzam.....	230
3.2.1.24 O <i>crossing over</i> envolve a troca de partes entre os cromossomos homólogos através da quebra e união das mesmas.....	231
3.2.1.25 O <i>crossing over</i> permite a recombinação .....	232
3.2.1.26 O <i>crossing over</i> aumenta a variação (variabilidade).....	233
3.2.1.27 Conforme os homólogos vão se afastando uns dos outros, é possível verificar estruturas em X denominadas quiasmas, evidências do <i>crossing over</i> .....	234
3.2.1.28 Os centríolos movem-se para os polos opostos da célula.....	235
3.2.1.29 Fibras do fuso formam-se durante o início da meiose.....	236
3.2.1.30 O envoltório nuclear desaparece .....	236
3.2.1.31 Os nucléolos desaparecem .....	236
3.2.1.32 Movimento dos cromossomos para o equador da célula.....	237
3.2.1.33 No equador da célula, os cromossomos ainda estão aos pares .....	237
3.2.1.34 Os cromossomos ligam-se às fibras do fuso .....	238
3.2.1.35 As fibras do fuso ligam-se ao centrômero de cada cromossomo homólogo .....	238
3.2.1.36 Os cromossomos ligam-se às fibras do fuso de lados opostos.....	239
3.2.1.37 Homólogos vão para os polos opostos .....	239
3.2.1.38 Homólogos são puxados para os polos opostos pelas fibras .....	240
3.2.1.39 Cada polo recebe apenas um dos cromossomos homólogos .....	241
3.2.1.40 Migração dos homólogos para os polos: cromátides permanecem unidas pelo centrômero.....	241
3.2.1.41 As cromátides de um mesmo cromossomo homólogo podem não ser idênticas .....	242
3.2.1.42 Os vários pares de cromossomos separam-se independentemente, permitindo a variabilidade genética.....	242
3.2.1.43 Cromossomos podem alongar-se ao atingir os polos das células .....	242
3.2.1.44 As membranas nucleares podem se reconstituir .....	243
3.2.1.45 Homólogos formam núcleos-filhos ao atingir os polos das células .....	244
3.2.1.46 Ao final da primeira divisão da meiose, a célula se divide .....	244
3.2.1.47 Ao final da primeira divisão da meiose, há a formação de duas células .....	245
3.2.1.48 Após a primeira divisão da meiose, cada núcleo-filho passa a ter metade dos cromossomos da célula original.....	245
3.2.1.49 Posteriormente à primeira divisão da meiose, cada núcleo-filho apresenta apenas uma das díades .....	246

3.2.1.50 Cada cromossomo de cada nova célula após a primeira divisão da meiose possui duas cromátides .....	247
3.2.1.51 Cromossomos homólogos que se dirigem a polos opostos e formam novas células podem não ser idênticos .....	247
3.2.1.52 Entre a primeira e a segunda divisão da meiose, pode ocorrer uma intérfase .....	248
3.2.1.53 A meiose apresenta apenas uma replicação cromossômica.....	249
3.2.1.54 A segunda divisão da meiose envolve a contração dos cromossomos.....	250
3.2.1.55 O fuso se forma novamente durante a segunda divisão da meiose .....	250
3.2.1.56 A segunda divisão da meiose envolve a desintegração do envoltório nuclear .....	250
3.2.1.57 Desaparecimento dos nucléolos.....	251
3.2.1.58 Cada cromátide prende-se às fibras de um dos polos opostos.....	252
3.2.1.59 As cromátides-irmãs dispõem-se na região equatorial da célula .....	252
3.2.1.60 Apenas um número haploide de cromossomos fica disposto no equador da célula durante a segunda divisão da meiose .....	253
3.2.1.61 Os centrômeros se dividem.....	253
3.2.1.62 Cromátides-irmãs se separam .....	254
3.2.1.63 Cada cromátide-irmã é puxada para um polo oposto.....	254
3.2.1.64 Cada cromátide é puxada para os polos pelas fibras do fuso .....	255
3.2.1.65 Após as cromátides atingirem os polos opostos da célula, a membrana nuclear é novamente formada.....	255
3.2.1.66 Após as cromátides atingirem os polos opostos da célula, os cromossomos se descondensam e reaparecem os nucléolos .....	256
3.2.1.67 Após as cromátides atingirem os polos opostos, desorganiza-se o fuso acromático	256
3.2.1.68 Ao final da segunda divisão da meiose, ocorre a divisão do citoplasma .....	257
3.2.1.69 A meiose resulta em quatro células .....	258
3.2.1.70 A meiose produz células geneticamente diferentes .....	258
3.2.1.71 Nem todas as células produzidas por meiose nas fêmeas podem participar da reprodução .....	259
3.2.1.72 A meiose permite a constância do número de cromossomos entre as gerações .....	260
<b>3.2.2 Padrões de Herança: Primeira lei de Mendel.....</b>	<b>260</b>
3.2.2.1 Linhagem pura para um determinado fenótipo é aquela que, quando cruzada consigo mesma, dá origem apenas a indivíduos com esse mesmo fenótipo .....	261
3.2.2.2 Os cruzamentos entre duas linhagens puras para dois fenótipos diferentes podem originar indivíduos com o fenótipo apresentado por apenas uma delas .....	262

3.2.2.3 Na prole resultante do cruzamento da geração $F_1$ , é possível o reaparecimento do fenótipo que havia desaparecido na prole da geração parental .....	263
3.2.2.4 O fenótipo que reaparece em $F_2$ apresenta-se em menor proporção .....	264
3.2.2.5 Na geração $F_2$ , pode-se encontrar uma proporção de 3:1 entre os indivíduos que apresentam cada uma dos fenótipos da característica analisada.....	264
3.2.2.6 A explicação mendeliana para tais resultados consiste na existência de fatores que determinam o fenótipo dos indivíduos .....	265
3.2.2.7 Os genes podem ocorrer em diferentes formas contrastantes.....	266
3.2.2.8 Os fatores observados por Mendel são genes, que se apresentam em formas alternativas chamadas alelos.....	266
3.2.2.9 Um par de fatores é necessário para determinar a característica .....	269
3.2.2.10 Os fatores são herdados em igual quantidade dos progenitores.....	270
3.2.2.11 Os fatores segregam igualmente durante a formação dos gametas .....	270
3.2.2.12 Os gametas possuem apenas um fator de cada par.....	271
3.2.2.13 Os gametas possuem apenas um tipo de fator .....	271
3.2.2.14 Todos os gametas produzidos por homocigotos apresentam apenas um mesmo tipo de fator, sendo o tipo de fator presente no indivíduo o mesmo encontrado no gameta .....	272
3.2.2.15 Heterocigotos produzem dois tipos de gametas em igual proporção .....	272
3.2.2.16 Quando há a fecundação, o novo indivíduo formado possui dois fatores para cada característica .....	273
3.2.2.17 O indivíduo formado em um cruzamento entre homocigotos para fenótipos diferentes de uma mesma característica recebe um gene de cada progenitor .....	273
3.2.2.18 O cruzamento de indivíduos homocigotos para fenótipos diferentes de uma mesma característica resulta na formação de híbridos ou heterocigotos .....	274
3.2.2.19 O indivíduo heterocigoto apresenta apenas o fenótipo de um de seus progenitores, pois o fator que o determina é dominante sobre o fator do outro fenótipo .....	275
3.2.2.20 O fenótipo que desaparece na $F_1$ seria controlado por um fator recessivo .....	276
3.2.2.21 Quatro diferentes tipos de combinação são possíveis a partir do encontro entre os gametas provenientes de indivíduos heterocigotos.....	276
3.2.2.22 Três diferentes genótipos são possíveis a partir do encontro entre os gametas provenientes de indivíduos heterocigotos .....	277
3.2.2.23 Dois diferentes fenótipos são possíveis a partir do encontro entre os gametas provenientes de indivíduos heterocigotos .....	278

3.2.2.24 Indivíduos homozigotos dominantes ou heterozigotos possuem o mesmo fenótipo e indivíduos homozigotos recessivos apresentam outro fenótipo .....	279
3.2.2.25 Os genes são parte dos cromossomos.....	279
3.2.2.26 Os genes encontram-se aos pares, assim como os cromossomos .....	280
<b>3.2.3 Padrões de Herança: Segunda lei de Mendel.....</b>	<b>280</b>
3.2.3.1 O cruzamento entre dois indivíduos puros com fenótipos diferentes para duas características diferentes pode resultar em indivíduos apenas com as características dominantes.....	280
3.2.3.2 A autofecundação dos diíbridos de $F_1$ pode originar indivíduos de quatro tipos, sendo a proporção entre eles de 9:3:3:1 .....	281
3.2.3.3 Os fenótipos dominantes não aparecem sempre juntos.....	282
3.2.3.4 Em $F_2$ surgem combinações diferentes das encontradas nos parentais .....	283
3.2.3.5 A explicação de Mendel para a proporção 9:3:3:1 é de que genes segregam independentemente na formação dos gametas .....	283
3.2.3.6 Há iguais chances de combinação entre os alelos na formação dos gametas, decorrentes da segregação independente desses alelos.....	287
3.2.3.7 Os gametas combinam-se aleatoriamente durante a fecundação, possibilitando também a proporção 9:3:3:1 .....	288
3.2.3.8 O cruzamento entre dois indivíduos puros com fenótipos diferentes para duas características diferentes pode resultar em indivíduos heterozigotos.....	290
3.2.3.9 O cruzamento entre dois indivíduos diíbridos pode resultar em nove diferentes genótipos .....	290
3.2.3.10 A segregação independente dos genes mencionada pela segunda lei de Mendel pode ser associada à segregação independente dos cromossomos homólogos na formação dos gametas.....	291
3.2.3.11 Antes de iniciar a meiose, os genes se duplicam juntamente com os cromossomos	293
3.2.3.12 Os genes migram para os polos das células junto com os cromossomos .....	293
3.2.3.13 Na meiose de diíbridos, duas situações são possíveis de ocorrer durante a segregação dos cromossomos e seus alelos.....	294
3.2.3.14 Há a mesma chance de ocorrer as duas possibilidades de segregação independente em diíbrido e quatro produtos alelos são possíveis na proporção 1:1:1:1.....	294
3.2.3.15 A segregação independente dos alelos ocorre geralmente porque os genes estão localizados em cromossomos diferentes .....	295
<b>3.2.4 Expressão Gênica (Síntese proteica) .....</b>	<b>297</b>

3.2.4.1 O DNA e o RNA possuem informações ou mensagens que são utilizadas na síntese de proteínas.....	297
3.2.4.2 A informação para a síntese de proteínas presente no RNA encontra-se disposta em trincas de nucleotídeos denominadas códons .....	301
3.2.4.3 Ao total, são formados 64 códons .....	302
3.2.4.4 Três códons sinalizam especificamente o final da tradução .....	303
3.2.4.5 Os demais 61 códons correspondem a aminoácidos .....	304
3.2.4.6 Cada códon define cada aminoácido que é inserido na proteína sintetizada .....	304
3.2.4.7 Um códon difere-se do outro por apenas um nucleotídeo .....	305
3.2.4.8 Cada códon corresponde a apenas <i>um</i> aminoácido .....	305
3.2.4.9 A sequência do mRNA determina a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica .....	305
3.2.4.10 O código genético é o conjunto da correspondência entre os códons de mRNA e os aminoácidos .....	306
3.2.4.11 O código genético é comum a quase todos os organismos do planeta, com poucas exceções (mitocôndrias e genes nucleares) .....	307
3.2.4.12 Há aminoácidos que possuem mais de um códon correspondente .....	308
3.2.4.13 Há seis diferentes códons para leucina e seis para arginina .....	308
3.2.4.14 Apenas dois aminoácidos possuem um único códon para codificação .....	309
3.2.4.15 O códon AUG corresponde ao aminoácido metionina (phe).....	309
3.2.4.16 O códon UUU corresponde ao aminoácido fenilalanina (Fen).....	309
3.2.4.17 O códon UUC corresponde ao aminoácido fenilalanina (Fen).....	310
3.2.4.18 O códon GCU corresponde ao aminoácido alanina (Ala) .....	310
3.2.4.19 O códon UCG corresponde ao aminoácido serina (Ser).....	311
3.2.4.20 O códon CAC corresponde ao aminoácido histidina (His) .....	311
3.2.4.21 O códon GGU corresponde ao aminoácido glicina (Gli) .....	311
3.2.4.22 De acordo com a hipótese de Beadle e Tatum, um gene controla uma enzima.....	311
3.2.4.23 A expressão gênica envolve a produção de uma molécula de RNA, a qual em seguida pode ser traduzida em um polipeptídeo .....	314
3.2.4.24 O processo de síntese de RNA é denominado transcrição .....	315
3.2.4.25 Durante a transcrição, o código do DNA é transferido para o mRNA.....	316
3.2.4.26 O RNA é produzido a partir de um molde de DNA.....	316
3.2.4.27 Para a transcrição, é preciso que as duas cadeias de DNA se separem .....	316

3.2.4.28 Somente uma das cadeias da molécula de DNA é utilizada como molde para a transcrição de um gene.....	317
3.2.4.29 Em eucariontes, a síntese de RNA ocorre no núcleo celular.....	318
3.2.4.30 Em procariontes, a síntese de RNA ocorre no nucleóide.....	318
3.2.4.31 A RNA polimerase é a enzima que catalisa o processo de síntese de RNA.....	320
3.2.4.32 Para iniciar a transcrição, a RNA polimerase se encaixa em uma sequência específica do DNA chamada de região promotora do gene.....	320
3.2.4.33 A região promotora fica no começo do gene.....	321
3.2.4.34 Posteriormente, a RNA polimerase começa a separar as cadeias de DNA.....	321
3.2.4.35 A RNA polimerase percorre uma das fitas de DNA na direção 3' para 5'.....	322
3.2.4.36 A molécula de mRNA é transcrita no sentido 5' para o 3'.....	322
3.2.4.37 A polimerasepareia os ribonucleotídeos livres a uma das cadeias do DNA.....	323
3.2.4.38 A molécula de RNA produzida possui a sequência complementar à cadeia-molde da molécula de DNA de origem.....	323
3.2.4.39 São emparelhamentos possíveis entre os ribonucleotídeos e a cadeia-molde do DNA: U ↔ A; A ↔ T; C ↔ G; e G ↔ C.....	324
3.2.4.40 Na síntese de RNA, o nucleotídeo uracila é introduzido no lugar da timina.....	324
3.2.4.41 A RNA polimerase vai unindo os ribonucleotídeos uns aos outros, formando a molécula de RNA.....	325
3.2.4.42 Conforme o RNA é sintetizado, desprende-se da cadeia-molde de DNA.....	325
3.2.4.43 Conforme o filamento de DNA deixa de ser utilizado como molde, volta-se a emparelhar com seu par.....	326
3.2.4.44 A transcrição é concluída quando a RNA polimerase encontra uma sequência específica de bases nitrogenadas, denominada de sequência de término de transcrição.....	327
3.2.4.45 Quando a RNA polimerase atinge o sinal de término, há a liberação da molécula sintetizada e da RNA polimerase com relação ao DNA.....	327
3.2.4.46 A função do mRNA é servir como uma cópia da informação para a produção de proteínas, enquanto o DNA se preserva seguro no núcleo.....	328
3.2.4.47 Um mesmo gene pode dar origem a várias moléculas de RNA.....	328
3.2.4.48 O processo de transcrição pode dar origem ao RNA mensageiro, RNA ribossômico e RNA transportador (tRNA).....	329
3.2.4.49 Há segmentos do DNA não-codificantes.....	330
3.2.4.50 Os genes responsáveis pela síntese do RNA ribossômico encontram-se na região organizadora nucleolar.....	330

3.2.4.51 As moléculas de rRNA sintetizadas acumulam-se, formando o nucléolo.....	331
3.2.4.52 Após sintetizado, o rRNA migra para o citoplasma .....	332
3.2.4.53 O ribossomo é formado por moléculas de RNA ribossômico e proteínas.....	332
3.2.4.54 O ribossomo é responsável pela produção de proteínas .....	332
3.2.4.55 Os mRNAs são produzidos a partir de regiões ativas do DNA .....	333
3.2.4.56 Em eucariontes, o RNA mensageiro migra do núcleo para o citoplasma .....	333
3.2.4.57 A passagem do mRNA ao citoplasma é realizada pelos poros nucleares .....	335
3.2.4.58 Os RNAs mensageiros são cópias de parte dos genes.....	336
3.2.4.59 As proteínas são produzidas a partir de uma molécula de RNA mensageiro .....	338
3.2.4.60 O códon de início geralmente é formado pela trinca AUG .....	338
3.2.4.61 O primeiro aminoácido de um polipeptídio recém-sintetizado é a metionina .....	339
3.2.4.62 O códon de início de tradução é onde se inicia a informação para a formação da cadeia polipeptídica.....	340
3.2.4.63 O códon de início fica próximo ao início do mRNA .....	340
3.2.4.64 O ribossomo serve de suporte para o acoplamento entre o RNA mensageiro e o RNA transportador.....	342
3.2.4.65 O RNA transportador é responsável por transportar os aminoácidos que irão compor a proteína sintetizada até o ribossomo .....	343
3.2.4.66 Cada aminoácido é ligado a um RNA transportador específico .....	343
3.2.4.67 O aminoácido é ligado a uma das extremidades do tRNA .....	344
3.2.4.68 A ligação entre um aminoácido e um tRNA é realizada por uma enzima denominada aminoacil-tRNA sintetase.....	345
3.2.4.69 A especificidade do tRNA pelo aminoácido pode ser determinada pelo anticódon	346
3.2.4.70 Na região mediana do tRNA está o seu anticódon.....	347
3.2.4.71 O anticódon é composto por três bases .....	349
3.2.4.72 O anticódon do tRNA pode emparelhar-se com o mRNA complementar .....	349
3.2.4.73 O anticódon é lido no sentido 3' para 5' .....	350
3.2.4.74 O RNA transportador atua como adaptador, encaixando os aminoácidos de acordo com os códons do RNA mensageiro .....	351
3.2.4.75 Diversas enzimas participam do processo de tradução .....	352
3.2.4.76 O ribossomo completo é formado no sítio de iniciação .....	352
3.2.4.77 A iniciação da tradução depende da associação entre um tRNA especial, o mRNA e o ribossomo .....	353

3.2.4.78 Para o início da tradução, o tRNA especial liga-se ao sítio P da subunidade ribossômica menor .....	354
3.2.4.79 Durante a tradução, o sítio P encontra-se ocupado pelo tRNA que carrega a cadeia polipeptídica em formação .....	355
3.2.4.80 No sítio A (aminoacil), aloja-se o tRNA que carrega o aminoácido que será incorporado à cadeia polipeptídica em formação .....	356
3.2.4.81 Assim que o primeiro tRNA se aloja no sítio P do ribossomo, o segundo tRNA aloja-se no sítio A.....	357
3.2.4.82 O anticódon do RNA transportador inserido no sítio A é complementar ao códon que se encontra sob ele .....	358
3.2.4.83 A peptidiltransferase presente no ribossomo realiza o rompimento da ligação entre o aminoácido que estava no sítio P e seu tRNA e sua ligação ao aminoácido presente no tRNA localizado no sítio A .....	358
3.2.4.84 Durante o processo de tradução, o mRNA vai passando pelo ribossomo .....	359
3.2.4.85 Cada “passo” do deslocamento do mRNA com relação ao ribossomo consiste em uma trinca de bases .....	360
3.2.4.86 Durante o processo de tradução, o tRNA complementar ao códon do mRNA move-se para o sítio P .....	361
3.2.4.87 Após sair do sítio P, o tRNA que carregava o primeiro tRNA vai para o sítio E do ribossomo em procariontes, e dirige-se diretamente para o citoplasma em eucariontes .....	361
3.2.4.88 O tRNA que ocupava o sítio A passa para o sítio P.....	363
3.2.4.89 Conforme o tRNA que estava no sítio A desloca-se para o sítio P, o próximo tRNA encaixa-se ao sítio A .....	364
3.2.4.90 Conforme ocorre o deslocamento, o processo se repete; novos tRNAs se posicionam nos sítios ribossômicos e a cadeia polipeptídica vai se alongando.....	365
3.2.4.91 O mRNA vai sendo traduzido em aminoácido, de forma que cada aminoácido inserido é correspondente ao códon do mRNA .....	366
3.2.4.92 A cadeia de nucleotídeos em formação move-se de um tRNA para o aminoácido anexo ao tRNA seguinte.....	367
3.2.4.93 Cada novo tRNA que ocupa o sítio P carrega um aminoácido a mais na cadeia peptídica .....	367
3.2.4.94 O final da síntese de um polipeptídio ocorre quando há o encontro do ribossomo com o códon de parada .....	368
3.2.4.95 Quando o códon de parada chega ao ribossomo, proteínas ocupam o sítio A.....	368

3.2.4.96 Ao final da tradução, todos os componentes participantes do processo se separam e são liberados .....	369
3.2.4.97 Após a liberação, os componentes da maquinaria de tradução podem ser reutilizados.....	370
3.2.4.98 O produto da tradução é uma cadeia polipeptídica .....	370
3.2.4.99 Sendo a sequência de nucleotídeos do mRNA determinada pela sequência de nucleotídeos do DNA, este último é capaz também de determinar a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica produzida.....	371
3.2.4.100 Vários ribossomos podem se encaixar sucessivamente ao mesmo mRNA, traduzindo-o simultaneamente.....	372
3.2.4.101 O conjunto formado por vários ribossomos traduzindo o mesmo mRNA é chamado de polirribossomo ou polissomo .....	373
3.2.4.102 Em procariontes, a tradução de um mRNA pode começar antes que sua transcrição tenha terminado.....	373
3.2.4.103 Em eucariontes, a tradução começa apenas após o término da transcrição .....	374
<b>3.2.5 Categorias de distanciamentos encontradas e suas implicações.....</b>	<b>374</b>
O anticódon do tRNA pode parear-se com o mRNA complementar, mas há pareamentos onde nem todas as bases do anticódon são complementares ao do códon .....	379
<b>3.2.6 Resultados da validação da amostra selecionada .....</b>	<b>382</b>
<b>3.2.7 Análise quantitativa dos distanciamentos encontrados .....</b>	<b>385</b>
3.3 DISCUSSÃO .....	392
<b>4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>399</b>
REFERÊNCIAS.....	407
APÊNDICES .....	417
APÊNDICE A– Termo de Consentimento Livre Esclarecido utilizado nas entrevistas de São Paulo (SP).....	418
APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre Esclarecido elaborado utilizado nas entrevistas de Kalamazoo (Michigan).....	420
APÊNDICE C– <i>E-mail</i> enviado aos entrevistados de São Paulo.....	422
APÊNDICE D– <i>E-mail</i> enviado aos entrevistados de Kalamazoo .....	423
APÊNDICE E– Transcrição das entrevistas .....	424

PB1.....	424
PB2.....	426
PB3.....	440
PB4.....	441
PB5.....	445
PB6.....	458
DB1.....	470
DB2.....	476
DB3.....	483
DB4.....	488
DB5.....	494
DB6.....	505
PE1.....	516
PE2.....	518
PE3.....	520
PE4.....	523
PE5.....	525
PE6.....	528
DE1.....	532
DE2.....	535
DE3.....	537
DE4.....	540
DE5.....	545
DE6.....	549
APÊNDICE F– Tabela de categorias e justificativas (Texto extenso – aqui apresentado parcialmente para ilustração. Tabela completa disponível no CD-ROM para consulta).....	563
APÊNDICE G– Tabela de inclusões (Texto extenso – aqui apresentado parcialmente para ilustração. Tabela completa disponível no CD-ROM para consulta).....	564
APÊNDICE H– Versão original das tabelas 4, 5 e 6 e a lista com os conteúdos mantidos e eliminados na tabela final.....	565
APÊNDICE I - Chave para identificação das justificativas para cada conteúdo no APÊNDICE F.....	566

APÊNDICE J- Disciplinas do curso de Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo, que tiveram suas ementas consultadas para verificar a bibliografia utilizada.....	573
APÊNDICE K– Protocolo da entrevista presencial realizada com um dos autores da principal bibliografia de referência.....	574
APÊNDICE L– Termo de Consentimento Livre Esclarecido elaborado para o autor da bibliografia de referência: .....	576
APÊNDICE M– Transcrição da Entrevista realizada com o Dr. Richard Lewontin, um dos autores da principal bibliografia de referência adotada .....	578
APÊNDICE N– Livros didáticos aprovados na Avaliação do Programa Nacional do Livro Didático de 2007, utilizados como amostra de livros para análise nesta pesquisa .....	591
APÊNDICE O– Livros didáticos utilizados por professores entrevistados em Kalamazoo, utilizados como amostra de livros para análise nesta pesquisa .....	592
APÊNDICE P- Distanciamentos analisados na amostra selecionada e na geral.....	593
ANEXOS .....	594
ANEXO A – Lista de conteúdos relacionados à área de Genética elaborada para ser apresentada aos entrevistados caso estes necessitassem de suporte .....	595
ANEXO B – Significado das normas e códigos utilizados durante a transcrição. Adaptado de Preti (1997) e Carvalho (2007).....	598
ANEXO C – Lista de bibliografia de referência selecionada para analisar aproximações e distanciamentos entre os conteúdos de Genética presentes nos livros didáticos e o conhecimento acadêmico .....	599
ANEXO D - Unidades de registro não consideradas na contagem frequencial devido à ausência de conhecimento correspondente na bibliografia de referência adotada. ....	601
ANEXO E – Conhecimentos sobre divisão celular apresentados por livros didáticos de Ensino Médio analisados .....	605
ANEXO F – Conhecimentos sobre Padrões de Herança: Primeira lei de Mendel .....	624
ANEXO G – Conhecimentos sobre Padrões de Herança: Segunda lei de Mendel .....	636
ANEXO H – Conhecimentos sobre Expressão Gênica (Síntese proteica).....	640
ANEXO I - Trechos dos textos dos livros que ilustram os distanciamentos e aproximações encontrados nos demais livros que complementam a amostra total para validação da amostra parcial.....	664

## 1 INTRODUÇÃO

Uma função importante do ensino escolar é ensinar o conhecimento produzido pela Ciência, não diminuindo o valor de outros modos de saber, mas sim permitindo que o aluno desenvolva uma compreensão de mundo compatível com o conhecimento científico. Dentre os saberes produzidos pela Ciência, os conhecimentos de Genética apresentam grande relevância, seja pela sua importância para as várias áreas das Ciências Biológicas, seja por sua conexão com diversos aspectos do cotidiano dos indivíduos. Trata-se de uma área que vem apresentando grande expansão, trazendo reflexões sobre quais de seus tópicos são importantes serem ensinados no âmbito escolar. Os livros didáticos são recursos que, de alguma forma, disponibilizam para os alunos conhecimentos da área. Os conteúdos disponíveis em tais materiais requerem uma transposição didática, ao mesmo tempo em que precisam de certo rigor com relação ao conhecimento produzido pela Ciência. Diante destes aspectos, a presente pesquisa baseiou-se em dois objetivos.

Primeiramente, pretendia-se identificar os conhecimentos básicos que os alunos deveriam saber sobre Genética ao final do Ensino Médio para se tornarem cidadãos críticos, segundo professores deste nível de ensino e docentes universitários que lecionam disciplinas da área. Pretendia-se estudar essa questão em dois contextos: um relacionado à cidade de São Paulo, no Estado de São Paulo (SP), Brasil; e outro relacionado à cidade de Kalamazoo, no Estado de Michigan (MI), Estados Unidos da América (EUA).

O segundo objetivo consistia em verificar como, ao estarem presentes nos livros didáticos, esses conhecimentos considerados básicos se aproximam e se distanciam dos saberes acadêmicos. Pretendia-se aqui também estudar especificamente livros utilizados nos dois contextos anteriormente mencionados.

Para facilitar a descrição deste estudo e sua compreensão, considerou-se aqui como *docentes* aqueles entrevistados que lecionam no Ensino Superior (ou Graduação) e *professores* aqueles entrevistados que lecionam no Ensino Médio (ou secundário).

Diante de tais objetivos, esta tese será introduzida por duas seções. A primeira procurará apresentar os pressupostos que fundamentam e justificam o presente estudo, enquanto a segunda apresentará um quadro das pesquisas realizadas na área, situando nele a investigação aqui pretendida.

## 1.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Apoiando-se na literatura que servirá de base teórica para este estudo, foram considerados alguns pressupostos para este trabalho, os quais também justificam sua importância. Em síntese: 1) Considera-se que o conhecimento científico, apesar de sua complexidade, se caracteriza por sua confiabilidade, gerada pelo consenso entre a comunidade científica; 2) O conhecimento científico também contribui para a constituição do saber escolar; 3) Ele apresenta especificidades próprias que justificam a necessidade de ensiná-lo no contexto escolar; 4) Entretanto, para se tornarem compreensíveis para os alunos, tais saberes passam por uma transposição didática; 5) Dentre os conhecimentos científicos de grande importância para o ensino estão os conhecimentos de Genética; 6) As informações dessa área estão se expandindo cada vez mais e se relacionando a diversas subdisciplinas da Biologia; 7) Devido ao desenvolvimento da área, é necessário se refletir sobre quais conteúdos são básicos para serem ensinados; 8) Os livros didáticos estão entre os grandes determinantes do conhecimento ensinado na escola; 9) Muitas pesquisas vêm encontrando conhecimentos nos livros didáticos que não são aceitos pelo conhecimento científico; 10) É necessário compreender como ocorrem as aproximações e os distanciamentos entre conhecimentos presentes nos livros didáticos e o conhecimento produzido pela academia, para verificar a natureza do conhecimento que esses materiais didáticos ensinam.

Portanto, nesta seção, serão esclarecidos tais pressupostos justificadores desta pesquisa. Todavia, é importante mencionar que, apesar de cada elemento poder ter diversas abordagens, não se pretende aqui realizar a problematização dos pressupostos, já que esse não é o objetivo do presente estudo, e sim deixar claro para o leitor quais são os fundamentos deste trabalho. Dessa forma, considera-se que a definição de um referencial teórico para a pesquisa é necessário para se ter clareza dos princípios nos quais ela está baseada.

Cabe aqui ainda dizer que grande parte desses pressupostos serviram de apoio para investigações anteriormente realizadas (FRANZOLIN, 2007). Desse modo, o referencial teórico para estes trabalhos será novamente aqui apresentado e complementado.

### 1.1.1 A importância do conhecimento científico para o ensino de Ciências

A primeira questão a ser considerada é qual o pressuposto de conhecimento científico utilizado por esta tese e qual a sua importância para a educação aqui defendida. Apesar de não existir apenas um autor que disserte sobre o conhecimento científico e a importância de seu ensino para os jovens (ver CACHAPUZ, 2005), encontraram-se nas ideias de John Ziman elementos-chave que se ajustam perfeitamente às concepções adotadas nesta tese.

Segundo Ziman (1985), não há um consenso do que seja Ciência. Entretanto, o autor apresenta um modelo de Ciência que pode auxiliar a explicar tanto as qualidades como as limitações do saber científico válido. Nesse modelo, o *conhecimento científico* é um produto do trabalho de *investigação científica* desempenhada pelos *cientistas*.

O trabalho de investigação consiste na realização de várias averiguações sobre um fenômeno natural, procurando descobrir, medir, observar e explicar as características possíveis de serem explicadas, e muitas vezes interferir diretamente no fenômeno estudado através do experimento. O cientista tem o papel de trazer uma *contribuição original* ao conhecimento. O desenvolvimento de seu trabalho requer tanto que esteja treinado para a resolução de problemas de investigação, como que utilize seu juízo pessoal para eleger temas, questões e métodos de investigação.

Entretanto, essas decisões a serem tomadas pelo cientista não são neutras da influência de certos elementos, como o estado presente do conhecimento, a relação do cientista com seus colegas e os recursos técnicos que lhe são disponíveis. Geralmente, seu trabalho ocorre em *equipes de investigação*, em *instituições de investigação*, tais como universidades e laboratórios, os quais podem aportar serviços técnicos custosos necessários em certas pesquisas. Todavia, as influências externas não são uma regra, havendo certa liberdade para os cientistas escolherem suas pesquisas e para serem individualmente reconhecidos pelos seus logros.

Porém, a investigação não serve apenas para satisfazer curiosidades pessoais dos cientistas. Seus resultados devem ser comunicados para a sociedade científica, através das publicações em congressos, revistas científicas e livros. Desse modo, o resultado das investigações dos cientistas individuais é compilado em um conhecimento *público*, em benefício da Ciência e da sociedade em geral.

Portanto, o conhecimento científico não é apenas uma soma de investigações individuais. Ele é fruto de uma *comunidade científica* e é por isso que é *confiável*. Essa comunidade científica não é uma instituição organizada como uma sociedade científica. Ela consiste em um *colegiado invisível* aberto para qualquer cientista realizar novas contribuições ao conhecimento. A comunidade científica é então composta por todos os demais cientistas para os quais possa interessar o resultado de uma investigação.

Essa comunidade possui a responsabilidade de criar e manter o *sistema de comunicação* da Ciência, o qual é composto, por exemplo, pelos periódicos e conferências onde os trabalhos são publicados. Esse sistema não é apenas responsável pela comunicação do conhecimento científico, mas também acaba por fixar normas para que este se torne aceitável. Um trabalho só é publicado em uma revista científica de prestígio depois de passar pela revisão de seu editor e de árbitros cientificamente preparados para julgar sua validade e originalidade, já que se tratam de cientistas do mesmo campo de investigação da pesquisa a ser publicada. Portanto, o trabalho precisa ter qualidades técnicas, argumentação lógica e exposição coerente para ser aprovado nesse processo de revisão *por seus pares* e publicado.

Todos os membros da comunidade científica ainda têm o dever de estudar atentamente os trabalhos publicados em sua área e apontar suas incoerências. Esse processo de crítica é essencial para estimular a competência dos trabalhos produzidos.

O conhecimento científico nunca pode ser considerado como absolutamente certo, estando sempre sujeito a erros. A Ciência também não é uma representação completa do mundo natural. Ela está em constante reformulação e melhoria de suas ideias. Entretanto, após passar por todo este processo de crítica, o qual também pode incluir a repetição de experimentos para testar outras hipóteses ou a comparação com o resultado de outras investigações, o conhecimento produzido se comprova e a comunidade científica julga-o válido e aceitável, sendo, portanto, *digno de confiança*.

Portanto, a confiabilidade de um fato ou de uma teoria de caráter científico não é decorrente da utilização de um método infalível, e sim do *consenso* entre os cientistas. Dessa forma, para Ziman o conhecimento científico é *consensual*.

Ao apresentar tais ideias sobre a Ciência, o autor ainda defende que a educação científica é uma importantíssima conexão entre a Ciência e a sociedade. O conhecimento produzido pela Ciência é o componente principal da cultura da sociedade moderna. Ele é indiretamente utilizado pela sociedade por meio de suas aplicações tecnológicas e, apesar de

haver uma distinção entre conhecimento científico e conhecimento cotidiano, existe também uma conexão direta entre o que é conhecido pela Ciência e o conhecimento comum gerado na sociedade.

A Ciência faz parte da sociedade contemporânea e, portanto, contribui para sua ideologia. Desse modo, as pessoas possuem familiaridade com muitas informações derivadas da Ciência, tais como quais alimentos são saudáveis, como tratar pequenas enfermidades ou como se planta um jardim. O público desenvolve imagens científicas do mundo das quais obtém diversas deduções metafísicas e práticas utilizadas em situações de sua vida cotidiana. Essas opiniões sobre a realidade científica, sendo certas ou errôneas, servem de base para muitas ações sociais.

O conhecimento científico está disponível ao acesso de quem queira consultá-lo através de uma gama de comunicações. Estas, entretanto, por apresentarem nomenclatura e fraseologia técnicas tão complexas, são compreensíveis apenas a um restrito grupo de trabalhadores da investigação de campos muito específicos, os quais possuem conhecimentos prévios necessários para compreendê-las.

Ziman afirma que esse conhecimento, entretanto, pode ser encontrado em versões simplificadas nos livros didáticos e, desse modo, transmitidas para um público mais amplo por meio do sistema educativo.

Apesar de a educação científica possuir diversos propósitos para mestres e discípulos, Ziman considera que uma das principais razões de se incluir Ciências Naturais na educação secundária e terciária seria o fato de essa se constituir como uma preparação necessária para certos aspectos da vida moderna. Apresenta, portanto, várias justificativas para a educação científica: os modos científicos de pensamento e a “atitude científica” são aplicáveis de forma proveitosa a toda classe de assuntos práticos; a visão científica do Universo e da Humanidade se constitui como uma das ideologias integradoras de nossos tempos; o conhecimento científico é uma das maiores conquistas de nossa civilização; para viver com a Ciência de forma segura e feliz é necessário compreender seus poderes e limitações; através de seu estudo pode-se adquirir muita sabedoria e muito se pode aprender sobre o uso preciso da linguagem; e ainda, ao aprimorar seu ensino, mestres e discípulos podem obter uma valiosa experiência humana.

Menciona também que muitos precisam conhecer certos elementos das Ciências para praticar suas profissões. A realização satisfatória de muitos empregos depende do

conhecimento científico. Entretanto, afirma que nem toda a educação científica é estritamente vocacional. A educação científica se constitui como a principal fonte de conhecimento básico para muitas pessoas, sendo útil ao abordar conceitos gerais estruturantes. Deve também estar relacionada com a realidade familiar cotidiana.

O autor ainda deixa claro que o lugar da Ciência na cultura popular de nosso tempo e o papel do cientista em nossa sociedade dependem substancialmente da maneira como o conhecimento científico é apresentado ao ser ensinado. A maioria silenciosa possui pontos de vista que podem pesar mais do que aqueles da minoria de trabalhadores da investigação e tecnólogos avançados. Portanto, é importante que essa maioria aprenda algo *sobre* Ciência como parte de sua educação das coisas em geral.

Portanto, a presente pesquisa, ao se basear teoricamente em Ziman, acredita que o conhecimento científico, apesar de não ser estático, é um conhecimento confiável, fruto do consenso gerado pela comunidade científica. Sendo esse conhecimento parte integrante da cultura contemporânea, ele é a base de muitas ações realizadas no cotidiano social, devendo, portanto, ser público. A função do sistema educativo é torná-lo acessível e compreensível e o livro didático é uma das ferramentas disponíveis para esta finalidade.

Esta pesquisa também concorda com Lopes (1999), ao considerar o conhecimento científico como um dos constituintes do saber escolar, sem entretanto desmerecer a importância de outros saberes sociais em sua constituição. Segundo a autora, o saber escolar se constitui nas disciplinas científicas a partir da relação com diferentes saberes sociais, como o saber cotidiano e o saber científico.

Portanto, a consideração de que o conhecimento científico deve fazer parte do conhecimento escolar não está aqui apoiada em uma visão de superioridade desse saber com relação a outros. Quanto a esse aspecto, a presente pesquisa também se baseia na Teoria do Construtivismo Contextual de William Cobern (1996) para justificar seu posicionamento quanto à importância de se ensinar o conhecimento científico no ensino escolarizado.

Assim como as demais linhas de construtivismo (ver GLEELAN, 1997), essa teoria considera o aluno como um ser ativo na construção do seu conhecimento e que esse processo depende de seus conhecimentos prévios. Entretanto, segundo o construtivismo contextual, o contexto no qual o conhecimento é construído e pode ser aplicado tem importância nesse processo. Desse modo, essa teoria considera que um conhecimento construído pode ser aplicável a um contexto, mas não a outro.

Portanto, segundo Cobern (1996), o conhecimento científico não pode ser considerado como superior. O papel da escola não é ensinar o conhecimento científico para que os alunos abandonem seus outros conhecimentos e realizem a mudança conceitual defendida por Posner e colaboradores (POSNER *et al.*, 1982).

Baseando-se nas diversas pesquisas publicadas na literatura que mostram a dificuldade de os alunos realizarem a mudança conceitual, Cobern propõe que os estudantes podem compreender um conhecimento sem necessariamente adotá-lo como válido. Diferentes conhecimentos, mesmo que antagônicos, podem ser compreendidos por uma pessoa, mas em situações de conflito ela utilizará aquele que tiver maior força de acordo com suas crenças, sua visão de mundo, ou poderá aplicar um conhecimento a um contexto e outro a outro contexto. O papel da escola é, então, ensinar o conhecimento científico, pois este é uma outra forma de linguagem, uma outra maneira de compreender o mundo e, portanto, é importante os alunos saberem em quais contextos ele é aplicável.

Apesar de acreditar na importância de se ensinar o conhecimento científico, a presente pesquisa concorda com Cobern quanto ao papel do ensino deste conhecimento na escola. Portanto, está de acordo com a ideia de que o objetivo da escola não é considerar o conhecimento científico como superior e o melhor modo de compreender o que está à sua volta. Considera-se que sua função seria a de desenvolver no aluno uma visão científica de mundo. Como afirma Cobern, o papel da escola seria o de ajudar o estudante a desenvolver uma visão de mundo *compatível* com a Ciência, de modo que ele possa compreendê-la e saber em quais contextos pode aplicá-la, sem necessariamente adotá-la como a única e melhor explicação para o que há à sua volta.

Bizzo (1998) também apresenta cinco especificidades para o conhecimento científico que justificam a sua importância e a necessidade de ensiná-lo, nas quais também está fundamentado o presente trabalho. De acordo com tais especificidades, o conhecimento científico: 1) não convive pacificamente com as diferentes explicações para o mesmo fato; 2) apresenta uma terminologia própria, a qual constitui um “código de compactação” que junta informações agregando significados; 3) possui preferência pelo simbólico, buscando afirmações aplicáveis a diferentes situações; 4) apresenta teorias interligadas, podendo umas servir de base para outras; 5) tem sua introdução na vida das pessoas mais tardiamente do que o conhecimento cotidiano, devido à sua complexidade e à capacidade necessária para compreendê-lo. Devido a esses cinco fatores, Bizzo considera importante que o conhecimento

científico seja ensinado no ambiente escolar. A escola pode realizar aproximações do conhecimento que os cientistas reconhecem como válidas. Entretanto, o reconhecimento dessa importância não significaria apresentar esse saber da mesma maneira como os cientistas em seus congressos. Para que essa aproximação seja possível, é preciso ter em consideração não apenas as características próprias do conhecimento, mas também as características do aluno, como sua capacidade de raciocínio e seus conhecimentos prévios.

Desse modo, a presente pesquisa acredita que, apesar de o conhecimento científico ser um importante constituinte do saber escolar, sua transposição didática é necessária para permitir sua compreensão pelo aluno dependendo do nível de conhecimento no qual ele se encontra. Tal pressuposto está fundamentado em Chevallard (1991).

Para esse autor, a *transposição didática* consiste no trabalho de transformar um objeto de saber em um objeto de ensino. Ela existe devido ao fato de o funcionamento do saber educacional ser diferente do funcionamento acadêmico. Desse modo, faz-se necessária para que o elemento de saber possa ser ensinado. O funcionamento didático tem, portanto, capacidade de produzir os saberes para o seu próprio consumo, ou seja, para serem utilizados especificamente em situações de ensino.

Chevallard explica como ocorre a produção desse saber a ser ensinado. Para ele, o sistema didático pode ser representado pelo professor, os alunos, o saber ensinado e as inter-relações entre eles. Esse sistema possui um entorno constituído pelo sistema de ensino, o qual pode reunir vários conjuntos de sistemas didáticos e está acompanhado de uma série de dispositivos estruturais, que tanto intervêm no funcionamento didático como o propiciam. Por sua vez, o sistema de ensino também possui um entorno, que seria a sociedade. Esta está constituída, por exemplo, pelos pais, os acadêmicos e a instância política, que consiste no órgão governamental que gere o sistema de ensino, como o ministério. Na periferia do sistema de ensino, há uma instância essencial para o funcionamento didático, onde ocorre a interação entre esse sistema e o entorno social. É aí que todos os representantes do sistema de ensino se enfrentam e procuram soluções para os problemas e conflitos que surgem do encontro com a sociedade e suas exigências. Portanto, é nessa periferia, chamada por Chevallard de *noosfera*, esfera onde se pensa, que o processo de transposição ocorre. O fluxo de saberes do entorno para o sistema de ensino passa pela noosfera, onde, portanto, o conhecimento provindo da academia sofre a transposição didática, a qual pode incluir as adequações do saber a ser ensinado às necessidades dos demais constituintes do entorno social.

Esse processo de transposição pode ser evidenciado nos materiais didáticos produzidos para ensinar o conhecimento que se pretende. Ao concordar com Chevallard quanto à necessidade da transposição didática, Forquin (1992) considera que a educação escolar não realiza apenas uma seleção de saberes e materiais culturais disponíveis num determinado momento da sociedade. Para torná-los mais acessíveis e disponíveis para as novas gerações, seria necessário se entregar a um imenso trabalho de reorganização, de reestruturação. Nos materiais didáticos essa necessidade de didatização pode originar vários traços morfológicos e estilísticos característicos dos saberes escolares, tais como a predominância de valores de apresentação e clarificação, a preocupação da progressividade, a importância atribuída à divisão formal, a abundância de redundâncias no fluxo informacional, os comentários explicativos e a presença de resumos e sínteses, entre outros.

### **1.1.2 Os conhecimentos de Genética e a importância de refletir sobre o que é ensinado**

Dentre os conhecimentos produzidos pela comunidade científica, apresentam grande importância aqueles provenientes da área da Genética. Como afirmam Griffiths *et al.* (2006), os conteúdos dessa área possuem posição de centralidade entre os demais conteúdos da Biologia. Sua importância pode ser justificada, pois os conhecimentos dessa área são essenciais para o estudo e compreensão da biologia vegetal, animal ou microbiana. Além disso, como nenhuma outra disciplina, a Genética se encontra em uma posição central dentre os aspectos de interesse humano. Ela está presente na vida cotidiana, tornando-se impossível ignorar suas descobertas.

Entretanto, especificamente sobre os conhecimentos de Genética, estudos recentes têm se preocupado com as concepções e dificuldades dos estudantes sobre o tema.

Um destes estudos foi realizado por Usak *et al.* (2009) na Turquia. Os autores focaram sua análise em como conhecimentos e atitudes de estudantes sobre Biotecnologia variavam de acordo com o nível de ensino (secundário e superior) e o gênero. Curiosamente, chegou-se à conclusão de que alunos do ensino secundário demonstraram apresentar mais conhecimentos do que os estudantes universitários. Apesar de não ser foco da análise dos autores, seus dados revelam algumas das principais dificuldades de compreensão de conteúdos relacionados à

Biotecnologia apresentados pelos alunos: a maioria dos alunos consideram culturas geneticamente modificadas como estéreis; imaginam que o consumo de alimentos geneticamente modificados pode causar alterações nos genes; não compreendem que a manipulação do DNA causa as alterações dos organismos geneticamente modificados; e não consideram a possibilidade de transferência de DNA entre organismos de espécies diferentes (como animais e plantas).

Já dois trabalhos de um mesmo grupo de pesquisadores, Pedrancini *et al.* (2007) e Pedrancini *et al.* (2008), abordam as concepções de alunos brasileiros (do Estado do Paraná), cursando o Ensino Médio, sobre transgênicos.

Na primeira pesquisa, realizada por meio de entrevistas a alunos, os autores também investigaram o que os alunos sabem sobre os conceitos e fenômenos biológicos (seres vivos, células, composição química e função do material genético – DNA – e relação entre DNA, cromossomos e genes). A partir das afirmações de alunos, apresentadas pelos autores, listam-se aqui algumas concepções implícitas. Os alunos apresentaram afirmações como: “DNA é o código genético”, “Cada pessoa tem um DNA, ninguém é igual a ninguém” (as quais revelam que o aluno não compreende o que é o código genético); “DNA é a nossa identidade, onde fica constituída as nossas características” (afirmação que desconsidera a influência do ambiente na determinação das características dos organismos); o DNA é “o tipo de sangue” ou “as características das pessoas” (revelando confusão entre o DNA e o resultado de sua expressão); e o DNA é constituído por “uma filinha de letrinhas” (demonstrando redução do conceito à sua metáfora explicativa). Ainda, segundo os autores, somente alguns estudantes reconheceram o DNA como o principal constituinte dos cromossomos.

Já os dados obtidos sobre transgênicos foram próximos àqueles encontrados no segundo trabalho produzido pelos autores. Nessa segunda pesquisa, os autores investigaram o que alunos sabem especificamente sobre transgênicos e quais as suas opiniões sobre as aplicações e implicações desta biotecnologia. Os dados foram obtidos por meio de questionários. Em suas respostas, todos os alunos disseram que já haviam ouvido falar sobre o assunto, seja por meio da mídia ou no ambiente escolar. A maioria dos alunos definiu transgênicos como organismos modificados, ou geneticamente modificados; entretanto, nem todos sabiam qual seria essa modificação, chegando a mencionar a enxertia como um modo de se realizar a transgenia. A pesquisa revelou que a maioria dos alunos não fazia distinção entre organismos geneticamente modificados e transgênicos, o que demonstra que a definição

de ambos os conceitos não estava bem clara para eles, já que consideravam todos os organismos geneticamente modificados como transgênicos. Os autores ainda verificaram que os alunos apresentam ideias equivocadas e sensacionalistas sobre as aplicações e implicações dessa tecnologia.

Dawson e Soames (2006) também estudaram os efeitos que a educação biotecnológica causa na compreensão e nas atitudes sobre processos biotecnológicos de estudantes do ensino secundário australiano. Os pesquisadores verificaram que os alunos aumentavam seus conhecimentos no decorrer do processo de ensino, mas o mesmo não ocorria com as mudanças de atitude. Observando os dados apresentados pelos autores, é possível verificar que os alunos dificilmente mencionam a existência de micro-organismos e plantas como clones, conhecem poucos alimentos geneticamente modificados comercializados em seu país, e ainda raramente associam Engenharia Genética com células-tronco, teste com embriões ou pesquisas envolvendo micro-organismos.

Há, ainda, entre outros trabalhos presentes na literatura, o trabalho de Lewis e Wood-Robinson (2000), que, ao investigarem os conhecimentos de Genética que os alunos apresentavam ao final da educação compulsória, verificaram que os estudantes possuem uma pobre compreensão do processo pelo qual a informação genética é transferida e uma falta de conhecimento básico sobre as estruturas envolvidas, como genes, cromossomos e célula.

Entretanto, apesar da relevância das pesquisas que se dedicam ao estudo das dificuldades de aprendizagem dos estudantes e até mesmo de como as metodologias de ensino as influenciam, concorda-se aqui com Flodin (2009) em que é também importante entender *o que* ensinamos e analisar os conteúdos presentes nos materiais didáticos.

Se olharmos para o desenvolvimento da área de Genética, podemos verificar que ela vem passando por um constante desenvolvimento. O conceito de gene, por exemplo, tem adquirido diferentes versões ao longo de seu desenvolvimento e dentro de cada uma das subdisciplinas da Biologia que passam a utilizá-lo (FLODIN, 2009).

O sequenciamento do genoma tem propiciado uma nova visão do DNA para o século XXI. Hoje se conhece, por exemplo, a abundância de transposições proporcionada pela mobilidade do DNA, pelas quais fragmentos de uma molécula, chamados de elementos móveis ou transponíveis, podem ser rearranjados em outros locais do genoma. Esse conhecimento traz consequências não só aos conhecimentos mais relacionados à área da Genética, mas também a outras áreas, tais como a Evolução. Enquanto anteriormente

considerávamos as mutações geradas por erros de replicação, que geram a alteração de pares de nucleotídeos, como a principal causa da evolução das proteínas, hoje já é amplamente aceito que isso se deve muito mais aos rearranjos dos éxons do DNA. Ademais, atualmente sabemos que a transferência de DNA pode ocorrer não somente entre uma geração e outra, mas horizontalmente, entre diferentes organismos, ou ainda, que pode haver a troca de DNA entre organelas celulares originadas por simbiose (SHAPIRO, 2010).

Outro campo de desenvolvimento da Genética refere-se às tecnologias geradas em decorrência de sua aplicação. Nos últimos anos, pesquisadores da área de ensino de Biologia vêm se preocupando com o ensino de tópicos relacionados à Biotecnologia atrelada à Genética. Ao procurar verificar como os conhecimentos referentes à aplicação da Genética encontram-se nos livros didáticos, Xavier, Freire e Moraes (2006) demonstram-se preocupados com a ausência desses conteúdos nos livros didáticos, assim como outros pesquisadores, Dawson e Soames (2006), Martínez-Gracia e Gil-Quílez (2003), Pedrancini *et al.* (2007), Pedrancini *et al.* (2008) e Usak *et al.* (2009), também se mostram preocupados com a necessidade de esses conteúdos serem abordados com qualidade nesses materiais escolares. Bonzanini e Bastos (2008), ao estudarem as concepções de alunos do Ensino Médio sobre clonagem, organismos transgênicos e Projeto Genoma, defendem que, pelo fato de tais temas estarem cada vez mais presentes na mídia e pela possibilidade de eles estarem relacionados a decisões a serem tomadas pelas pessoas na sociedade, faz-se necessário abordá-los nas escolas.

Bizzo (1995, 1998b) também aponta que questões em torno da clonagem e da programação genética de organismos trazem de volta temas polêmicos, como a eugenia. Ademais, como afirma Dougherty (2009), com o advento do Projeto Genoma Humano, características que antes se julgavam simples, determinadas apenas por um par de genes, hoje são consideradas complexas. Tanto para Bizzo (1998b) como para Dougherty (2009), não basta mais dominar problemas matemáticos envolvendo a genética mendeliana para que os estudantes entendam suas características e questões que a envolvem. É preciso que os alunos compreendam que não há mais uma simples relação entre genótipo e fenótipo e que suas características são determinadas por fatores desenvolvimentais, ambientais e pela interação entre os genes.

Isso evidencia que novas demandas são exigidas no ensino de Genética, esperando-se que ocorra o ensino e a aprendizagem de temas atuais relacionados à área.

Dentre os trabalhos acadêmicos sobre o ensino de Genética, diferentes autores apresentam diferentes concepções sobre os conteúdos que consideram básicos a serem ensinados. Ademais, os trabalhos que se dedicam à discussão do currículo vêm trazendo questionamentos sobre a importância de se ensinar ou não a influência do ambiente na determinação dos caracteres e os padrões de herança complexos, meiose, mitose e até mesmo questões relacionadas ao ensino da história da Genética, como será abordado com mais profundidade na próxima seção.

Discursos em prol da qualidade em detrimento da quantidade também podem ser encontrados. Ayuso e Banet (2002), ao propor alternativas para o ensino de Genética na educação secundária, dizem que o *tempo* é um elemento necessário para que os alunos realmente aprendam sobre a herança biológica e conquistem modificações substanciais em suas habilidades intelectuais. Desse modo, consideram que os conteúdos devem ser selecionados de forma mais crítica e fundamentada, levando-se em conta sua utilidade formativa e tendo como preocupação maior o alcance da qualidade de aprendizagem em vez da quantidade.

Portanto, sendo a Genética uma área cujos conteúdos se encontram em constante expansão e tendo pesquisadores evidenciado dificuldades apresentadas pelos alunos para compreendê-la, torna-se importante refletir sobre o que ensinar nessa área. Desse modo, algumas questões podem surgir nesse quadro, tais como: É possível ensinar todo o conhecimento já construído na área para alunos de Ensino Médio? Se é necessário realizar seleções, o que selecionar? Será que os conhecimentos classicamente ensinados são básicos para os alunos? O que é selecionado estaria facilitando ou dificultando a compreensão dos alunos sobre os conceitos da área?

Nesse sentido, o primeiro objetivo desta pesquisa torna-se importante. Sendo uma das preocupações da educação básica brasileira o preparo do aluno para o exercício da cidadania, inclusive expresso em lei (LDB 9394/96, Art. 2.º), a presente pesquisa pretende verificar quais são os conteúdos considerados básicos para a formação de um cidadão crítico, segundo professores que lecionam Biologia no Ensino Médio e docentes que lecionam disciplinas relacionadas à área de Genética no Ensino Superior.

A preocupação com a formação de cidadãos que possuam conhecimentos e habilidades relacionadas com a Ciência e a Tecnologia não se restringe apenas ao contexto brasileiro. Como afirma Guo (2007), entre as forças motrizes para a reforma do ensino de

ciências por todo o mundo, estão os avanços na Ciência, na Tecnologia e na Tecnologia da Informação. Portanto, segundo o autor, existe uma crescente preocupação com relação à importância de tais conhecimentos para o desenvolvimento das sociedades, e os cidadãos precisam estar preparados para agir e tomar decisões sobre tais temas.

Ainda, conforme mencionado, outro ponto importante a se considerar quando se pensa em refletir sobre o que ensinamos é a atuação dos livros didáticos. Apesar da dificuldade de encontrar na literatura trabalhos mais atuais que se preocupem em verificar qual é a importância do livro didático na determinação do que é hoje em dia ensinado pelo professor, é possível localizar algumas menções sobre a existência de influência desses materiais sobre o que é ensinado nas escolas, tanto no Brasil como em outros países (BALL; FEIMAN-NEMSER, 1988; CARVALHO; BRASIL, 2003; SILVA; CLÉMENT, 2005; INSTITUTO NACIONAL DE EVALUACIÓN Y CALIDAD DEL SISTEMA EDUCATIVO, 2004; LEE; EICHINGER; ANDERSON *et al.*, 1993; SOLBES, 1987). De toda forma, esse tipo de material é adotado por muitas escolas e espera-se que ele tenha alguma finalidade relevante para o processo de ensino e aprendizagem do aluno, o que justifica se preocupar com sua qualidade e com o que ensina.

Como anteriormente mencionado, os conteúdos são produtos da transposição didática e, como frutos desse processo, podem ser passíveis de diferentes tipos de distanciamentos com relação ao conhecimento científico, podendo esses distanciamentos ser necessários e positivos ou até mesmo agravantes para sua qualidade, como pesquisas anteriores revelaram (DEL CARLO, 2007; FRANZOLIN, 2007; LEMOS, 2009; NARCISO Jr., 2008).

Preocupados com os atributos de tais materiais, tanto pesquisadores como entidades governamentais e associações vêm desenvolvendo análises desses livros sobre diversos aspectos.

Como será mencionado na seção 1.2, vários pesquisadores têm encontrado elementos que merecem ser melhorados nesses materiais, inclusive na área de Genética (CASTÉRA *et al.*, 2007; EL HANI *et al.*, 2007; ESCRIBANO; SAHELICES, 2004; GERICKE; HAGBERG, 2007; MELO; CARMO, 2009; NASCIMENTO, 2005; PITOMBO; ALMEIDA; EL HANI, 2007; XAVIER; FREIRE; MORAES, 2006; ESCRIBANO; SAHELICES, 2004).

Além disso, em ambos os contextos envolvendo a presente pesquisa, Brasil e Estados Unidos, preocupações referentes à avaliação dos livros didáticos levaram ao desenvolvimento de processos de avaliação de tais materiais. No Brasil avaliações governamentais ligadas ao

Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) são realizadas periodicamente, enquanto, nos Estados Unidos, pesquisas desenvolvidas pela American Association for the Advancement of Science (AAAS), como parte do *Project 2061*, foram realizadas com intuito de prover a qualidade dos livros didáticos.

Vários estudos recentes relacionados a livros didáticos vêm se preocupando especificamente com a análise de seus conteúdos. Exemplos consideráveis (ALVES; CARVALHO, 2007; CARAVITA *et al.*, 2007; EL HANI *et al.*, 2007; SKUJIENĖ *et al.*, 2007; entre outros) desses trabalhos foram publicados no *International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbook*, ocorrido na Tunísia em 2007.

Sendo os conteúdos presentes nos livros didáticos também foco de atenção do presente trabalho, pode-se considerar que ele se enquadra dentro de um tema de grande relevância para a pesquisa acadêmica. Diante da influência exercida por esses materiais didáticos e da importância de se refletir sobre o que eles ensinam, esta pesquisa procurará verificar como conhecimentos de Genética estão presentes nos livros didáticos, verificando sua relação de distanciamento e aproximação com relação ao conhecimento veiculado na academia. Tal análise parte dos pressupostos anteriormente apresentados com relação à importância de se ensinar o conhecimento científico na escola, mas sem desconsiderar que a transposição didática é um processo existente e necessário.

Não é a pretensão deste trabalho denunciar esse ou aquele livro como portador de erros e como inadequado para o uso no ensino. Considerando que o processo de elaboração de material didático e de transposição didática é complexo, espera-se aqui apontar distanciamentos hoje disponíveis nesses materiais, discutindo a sua necessidade ou as suas limitações, esperando que esse levantamento possa ser útil tanto para professores (que utilizam tais materiais) como para pesquisadores da área e avaliadores (que podem ter novos elementos para direcionar seus olhares nessa análise), e até mesmo para os próprios autores desses e de outros livros, que podem refletir sobre a necessidade de certos distanciamentos em suas obras. Portanto, espera-se que os dados desta pesquisa possam ajudar a prover a qualidade de tais materiais didáticos, permitindo que esses livros cumpram o seu papel de auxiliar no processo de ensino e aprendizagem.

## 1.2 AS PESQUISAS SOBRE ENSINO DE GENÉTICA, CURRÍCULO E LIVRO DIDÁTICO

Para posicionar os objetivos norteadores desta investigação dentre os apresentados pelos estudos publicados nos últimos anos, realizaram-se algumas buscas bibliográficas de trabalhos relacionados aos objetos de pesquisa desta tese, tais como os conteúdos de Genética para o Ensino Médio e os conteúdos de Genética nos livros didáticos.

Para tanto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica em periódicos estratificados pela Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) como Qualis A, ano base 2007, (lista disponível em <<http://qualis.capes.gov.br/webqualis>>), já que são periódicos reconhecidos pela comunidade científica pela qualidade de seus trabalhos. Foram consultados os periódicos *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *Ciência e Educação (UNESP)*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, *Research in science & technological education* e *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Inicialmente, procurou-se conhecer os trabalhos mais recentes, publicados num período de dez anos (janeiro 1999 – abril 2009), já que o objetivo era ter uma visão atual e não histórica do tema pesquisado. Posteriormente, atualizou-se essa busca bibliográfica até fevereiro de 2011.

Posteriormente, realizou-se outra busca entre os trabalhos publicados no *International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbook*, ocorrido na Tunísia, em 2007. Julgou-se importante considerar esses trabalhos, pois foram publicados em um evento internacional recente específico na área, o qual reuniu pesquisas de vários países.

Nos periódicos foram encontradas 40 publicações a respeito do ensino de Genética na faixa etária correspondente ao Ensino Médio. A maioria delas, 65%, relata atividades e intervenções didáticas testadas para o ensino de Genética, mencionando geralmente resultados positivos. Essas inovações consistem em desde conjuntos de práticas e metodologias envolvidas em projetos ou em cursos (em dois casos específicos de formação de professores) até elementos específicos, como jogos, atividades práticas para laboratórios, mídias e dinâmicas. Esses trabalhos revelam uma preocupação dos pesquisadores de vários países em desenvolver alternativas que propiciem a aprendizagem no ensino de Genética e Biologia Molecular.

Outros trabalhos (15% dos encontrados) concentram-se em compreender as concepções dos alunos, são eles: Dawson e Soames (2006), Pedrancini *et al.* (2007), Pedrancini *et al.* (2008), Usak *et al.* (2009), Guimarães, Carvalho e Oliveira (2010), com relação a estudantes do ensino básico, e Šorgo e Ambrožič-Dolinšek (2011) especificamente sobre professores de Biologia.

Há também trabalhos com temas diversos, como o de Pedrancini, Corazza e Galuch (2011), sobre o processo de aprendizagem de conhecimentos sobre hereditariedade; o de Kist e Ferraz (2010), sobre como os professores compreendem as interações entre Ciência, tecnologia e sociedade, o qual traz elementos relacionados ao ensino de Biotecnologia; e o trabalho de Melo e Carmo (2009), que faz uma análise das publicações científicas relacionadas às pesquisas sobre ensino de Genética e Biologia Molecular no Ensino Médio brasileiro.

Tais trabalhos trazem elementos interessantes para discutir o ensino de Genética; entretanto, não estão diretamente relacionados ao objeto de estudo deste trabalho, pois não focalizam a questão curricular e a análise de livros didáticos.

Apenas um dos trabalhos encontrados está relacionado à questão curricular: trata-se do trabalho de Ayuso e Banet (2002). Tais autores sugerem critérios para a seleção e sequenciamento de conteúdos para o ensino de Genética na educação secundária. Esses critérios foram desenvolvidos com base em vários trabalhos publicados na literatura sobre as concepções dos estudantes. Estão ainda apoiados em resultados de vários anos de investigação em aula sobre o ensino e a aprendizagem do tema. Os autores baseiam-se principalmente no pressuposto já existente na literatura de que os alunos aprendem a partir dos conhecimentos que já possuem. Ademais, consideram que a seleção de conteúdos deve transcender ao ensino disciplinar e propedêutico, contemplando o contexto cotidiano em que os alunos enquanto cidadãos utilizarão suas aprendizagens. Julgam, também, que a articulação dos conteúdos deve ir além da memoração.

Os autores consideram que, para os alunos compreenderem questões mais complexas sobre a herança biológica, é necessário que tenham alguns conceitos prévios, como uma compreensão das características básicas dos seres vivos, sua estrutura celular e reprodução. Os alunos deveriam ter claro que todos os seres vivos possuem células, onde estão suas heranças biológicas que definem suas características, as quais também podem ser influenciadas pelo ambiente. Para tanto, Ayuso e Banet propõem a diversidade como ponto de

partida para tratar a herança biológica, assim como a conexão entre a Genética e a Evolução. Na sequência, defendem que os alunos devem compreender que essa herança se encontra nos cromossomos, dentro da célula, bem como a participação do processo de mitose e meiose na transmissão da característica hereditária de célula a célula e de indivíduo a indivíduo. Para eles, a ênfase deveria ser dada nas consequências desses processos e não as características de suas fases. Posteriormente, sugerem ensinar que os genes são responsáveis pela herança e estão localizados nos cromossomos, e que todas as células de um indivíduo possuem as mesmas informações hereditárias. Por fim, seriam abordados os mecanismos de herança, o que necessitaria habilidades de manipulação com algoritmos.

Após o trabalho com todos esses aspectos, os autores acreditam que os alunos estariam mais preparados para entender o que gera a diversidade intraespecífica e a evolução, pois já compreendem como ocorre a formação de diferentes gametas durante a meiose e como são geradas as mutações. Entretanto, quando o assunto é sequência de conteúdos, nem todos os autores concordam que o ensino de Genética deva preceder o de evolução, como será discutido mais adiante ao se referir ao trabalho de Bizzo e El Hani (2009).

Ayuso e Banet (2002) também defendem o ensino das aplicações tecnológicas e sociais dos conhecimentos da área de Genética, para que os alunos compreendam as notícias que ouvem nos meios de comunicações e lhes despertam curiosidades e receios. Esses conteúdos deveriam ser trabalhados de forma integrada com o resto do programa. Além disso, os autores não sugerem apenas conteúdos conceituais, pois acreditam que eles podem favorecer e ser favorecidos por conteúdos procedimentais, tais como habilidades investigativas, habilidades de investigação e habilidades desenvolvidas na resolução de problemas de “lápiz e papel”. Além disso, recomendam o trabalho com valores, atitudes, normas e comportamentos, tais como hábitos de trabalho em equipe, o respeito à opinião dos outros, a valorização e o reconhecimento dos limites e potencialidades do conhecimento científico para a sociedade, e o respeito a outras pessoas decorrente do reconhecimento da diversidade gerada pelos mecanismos biológicos de caráter hereditário. Entretanto, os autores acreditam que esse planejamento proposto pode ser desenvolvido e potencializado a partir dos resultados da aplicação prática.

Quanto à disponibilidade de outros trabalhos sobre o currículo de Genética, podem-se mencionar os resultados encontrados na pesquisa de Melo e Carmo (2009). Esses autores analisaram basicamente artigos publicados em periódicos brasileiros destinados

principalmente às pesquisas em ensino de Ciências e anais de eventos científicos na área, bem como artigos de fontes diversas disponíveis on-line, publicados entre os anos de 1999 e 2008. O estudo encontrou mais artigos no periódico *Revista Genética na Escola*, sendo a especificidade do periódico um dos prováveis motivos. Entretanto, nas demais publicações analisadas, os autores consideraram que as publicações relacionadas ao ensino de Genética e Biologia Molecular para o Ensino Médio eram poucas. Dos 32 artigos publicados pela Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular, por exemplo, 3 eram específicos sobre esse tema.

Dos 85 trabalhos encontrados por Melo e Carmo, seis eram relacionados a questões curriculares. Embora os autores não mencionem quais são esses seis trabalhos encontrados, afirmam que eles sugerem principalmente a contextualização do conhecimento ensinado, e também propõem a incorporação de temas relevantes e atuais ao currículo. Dentre os temas mencionados estão alguns relacionados à Genética Humana, tais como Projeto Genoma e câncer, e outros veiculados diariamente na mídia, tais como clonagem, manipulação do DNA, teste de DNA, alimentos transgênicos e procedimentos tecnológicos ligados a tais temas, como o DNA recombinante. Uma forte tendência foi percebida quanto à associação da Genética com a Biologia Molecular, visando a facilitação do ensino e aprendizagem de alguns tópicos relacionados a ambas as áreas. Não é possível afirmar com certeza, mas a pela interpretação da descrição apresentada por Melo e Carmo (2009), as publicações por eles analisadas apresentariam as convicções de seus próprios autores sobre a importância dos conteúdos sugeridos.

Um trabalho mencionado por tais autores e que talvez esteja dentre aqueles por eles analisados seria o de Camargo e Infante-Malaquias (2007). Baseando-se em evidências observadas em suas próprias experiências e em descrições presentes na literatura, Camargo e Infante-Malaquias sugerem alguns tópicos a serem trabalhados no ensino de Genética. Dentre eles está a abordagem do padrão de herança monogênica como um dentre os vários padrões de herança de caracteres humanos, e não como uma regra geral. Desse modo, julgam importante mencionar que há outros tipos de padrões de herança e reforçar a influência de fatores ambientais, e não apenas genéticos, na expressão das doenças, evitando-se, portanto, o determinismo genético.

Estes autores sugerem também a desmitificação de certos conceitos que os alunos possam ter, como por exemplo, quando consideram que a reprodução sexuada não ocorre em

vegetais e que os cromossomos sexuais só existem em células sexuais e humanas. Concordam, ainda, com Smith (1991), recomendando a ênfase ao processo de meiose para que os alunos possam compreender os conceitos envolvidos nos problemas de Genética, em vez de enfatizar resultados percentuais esperados.

Além das pesquisas bibliográficas citadas até o momento, obtiveram-se também algumas outras publicações, por indicações e fontes diversas, especificamente sobre a questão do currículo de Genética.

Dentre elas estão os trabalhos de Dougherty (2009 e 2010). Ao analisar os parâmetros curriculares estaduais estadunidenses, Dougherty (2010) verificou que somente 10 a 15% desses documentos especificam que os alunos devem aprender características genéticas complexas e que, portanto, esse conteúdo é raramente ensinado nas escolas. O pesquisador considera esses resultados problemáticos diante do contexto atual, em que temos um número crescente de testes genéticos disponíveis, inclusive diretamente ao consumidor, ou em que estudantes precisam aprender a compreender como herança e riscos diferem entre características complexas e características monogênicas. Segundo esse pesquisador, o ensino de Genética se mantém focado em características monogênicas não só no ensino secundário, mas também no Ensino Superior (DOUGHERTY, 2009).

Em trabalho mais recente, publicado por Dougherty *et al.* (2011), descreve-se a elaboração uma lista de conceitos considerados essenciais para a alfabetização Genética e para a compreensão dos alunos da *High School* por uma equipe de especialistas em Genética, ensino de Biologia e currículo ligada à Associação Americana de Genética Humana (*The American society of human genetics* (ASHG)). Nessa lista, havia conhecimentos relacionados à cinco áreas conceituais, a saber: natureza do material genético, padrões de herança, expressão gênica e sua regulação, variação genética e evolução. Essa lista foi elaborada para ser utilizada como base de comparação durante uma pesquisa que procurou avaliar os parâmetros curriculares (*standards*) de todos os estados dos Estados Unidos e do Distrito de Columbia. O estado de Michigan se destaca como o estado que teve maior pontuação na análise, com 15 dos 19 conceitos avaliados considerados como adequadamente contemplados por seu currículo. Entretanto, considerando em conjunto os resultados de todos os documentos analisados, apenas 5 dos 19 conceitos considerados essenciais foram avaliados como adequados quanto à sua clara apresentação. A maior parte dos conceitos foi considerada, quanto a sua abordagem, como inadequada e dois como ausentes, já que eram raramente

encontrados nos documentos. Entre os adequados estavam aqueles relacionados à natureza do material genético, à herança medeliana e à evolução. Entretanto, entre aqueles raramente contemplados pelos documentos estavam os que tratavam de características complexas.

Dougherty (2010) ainda defende a não-manutenção da sequência histórica nos programas de ensino, e sim a introdução de características humanas complexas comuns no lugar do ensino de características monogênicas raras. Para tanto, suas pesquisas já incluem o teste de um novo currículo para verificar o impacto de uma proposta com tais características na educação estadunidense. Outro trabalho encontrado relacionado ao currículo na área foi o de Bizzo e El-Hani (2009), que discutem a frequente abordagem dos conteúdos de Genética anteriormente ao conteúdo de Evolução. Segundo os autores, essa ordenação decorre de uma suposta justificativa de base histórica. Isso significa que adeptos da precessão dos conteúdos de Genética aos conteúdos de Evolução acreditam que Charles Darwin poderia ter desenvolvido um sistema de ideias muito mais próximo da chamada Teoria Sintética caso tivesse conhecido os resultados de Gregor Mendel. Desse modo, os alunos enfrentariam uma situação mais vantajosa do que aquela experimentada por Darwin, se a escola lhes proveesse uma base sólida de Genética, já que esta lhes propiciaria conceber modelos evolutivos não concebidos pelo próprio Darwin. Discordando de tais argumentos, os autores explicam em seu trabalho como possivelmente teria surgido essa crença e apresentam principalmente algumas evidências que possibilitam seu questionamento.

Baseando-se em dados coletados em fontes estudadas, eles apresentam evidências que apóiam a hipótese de que Darwin conhecia a proporção 3:1 e supostamente os resultados dos experimentos com ervilhas de Mendel. Entretanto, o que teria impedido Darwin de progredir em sua teoria evolutiva seriam razões epistemológicas, já que havia diferenças teóricas básicas entre as suas ideias e as de Mendel. Mendel se embasava na ideia da pré-formação, utilizando um modelo de herança dura, em que as variações se mantêm de geração para geração, sendo transmitidas através de fatores que ficam estocados discretamente ou se expressando. Já Darwin se apoiava na epigênese, utilizando um modelo “herança mole”, em que as variações são alteradas e transmitidas por gêmulas, podendo se misturar nos indivíduos e ser modificadas pelo ambiente, como, por exemplo, as alterações do solo teriam propriedades de levar ao desaparecimento e ressurgimento de uma variedade de uma geração para outra. Além disso, ambos estavam preocupados com problemas diferentes. Darwin queria saber como surgem novas características, mas não conseguiria ver resposta para essa

questão nos resultados de Mendel, que apenas explicavam como a integridade das características era mantida ao longo das gerações.

Portanto, para os autores, o conhecimento dos resultados de Mendel por Darwin não garantiria que este último desenvolvesse uma teoria evolutiva mais complexa, pois ambos estavam apoiados em bases teóricas diferentes sobre a influência de fatores internos e externos na determinação dos organismos. Do mesmo modo, o fato de os estudantes conhecerem os trabalhos de Mendel sobre herança pode não garantir a compreensão da compatibilidade de suas ideias com as de Darwin, algo que demorou décadas para ocorrer historicamente. Trata-se, portanto, de um processo complexo, difícil de ser reconstruído no ambiente escolar. Portanto, para Bizzo e El-Hani, a precessão do ensino de Genética ao ensino de Evolução não garantiria a compreensão da relação entre ambos. Para favorecer o vínculo entre Genética e Evolução, seria importante abordar mais aspectos relacionados à macroevolução com a ajuda de conhecimentos sobre paleontologia e o tempo geológico, os quais mencionam serem pouco considerados até mesmo no Ensino Superior. Para os autores, deixar para ensinar Evolução ao final do curso, ainda mais com as restrições temporais do curso de Biologia, poderia fazer com que os conhecimentos dessa área não auxiliassem na compreensão de outros tópicos, como a diversidade biológica, e os alunos passassem a aprendê-la apenas como uma lista de táxons desconexos.

Um trabalho mais antigo, mas que estuda questões relacionadas ao currículo de Genética no contexto estadunidense, é o de Bridgforth (1993). Diante de evidências de que os alunos estavam deixando o ensino secundário com apenas conhecimentos básicos sobre uma ou outra “doença” genética, a autora defende a importância de se ensinar sobre tais anomalias, principalmente as quatro mais frequentes no país: fibrose cística, doença de Tay-Sachs, anemia falciforme e talassemia.

Apesar da importância dos trabalhos acima mencionados, é possível notar que há uma carência na literatura de investigações relacionadas ao currículo de Genética. Desse modo, ao se direcionar a esse tema, esta pesquisa dedica-se ao um tema pouco explorado ou, ao menos, pouco publicado, principalmente nos periódicos de qualidade reconhecida.

Mesmo em relação a esses poucos trabalhos que se dedicam ao tema, o estudo aqui pretendido apresenta outro enfoque. Diferentemente das pesquisas anteriormente mencionadas, não se pretende aqui questionar o sequenciamento dos conteúdos no currículo com base na História da Ciência ou apresentar propostas curriculares baseadas na experiência

do autor, em investigações, na concepção dos alunos ou em informações provenientes da literatura. O que se pretende é verificar o que os professores, que trabalham na sala de aula ensinando os estudantes e os docentes que formam os futuros professores de Biologia nas universidades e estão mais próximos do conhecimento produzido pela academia, julgam básico ensinar no Ensino Médio para que os alunos se tornem cidadãos críticos.

Já quanto aos trabalhos referentes ao ensino de Genética nos livros didáticos, foram encontrados na pesquisa realizada, mencionada no início dessa seção, três artigos nos periódicos e três artigos publicados no evento mencionado.

Quanto ao levantamento bibliográfico realizado por Melo e Carmo (2009), dos 85 artigos encontrados pelos autores, foram identificados seis sobre o tema. Em proporção, a quantidade de artigos encontrada por esses autores foi menor, mas o número absoluto é o mesmo. Aqui, novamente, os autores não citam quais foram as obras encontradas.

Dos seis artigos encontrados no levantamento bibliográfico realizado na presente pesquisa, foi possível verificar que a análise de conteúdos de Genética em livros didáticos vem sendo realizada com diferentes enfoques.

Xavier, Freire e Moraes (2006) tinham como objetivo verificar qual era o padrão de atualização dos conteúdos apresentados nos livros de Biologia brasileiros. Os resultados dessa pesquisa mostraram que os livros didáticos não estão atualizados com conteúdos necessários para a compreensão de informações relacionadas ao avanço do conhecimento da chamada Nova Genética. Os autores apontam a necessidade de reformulação e atualização desses materiais com textos modernos, que propiciem mudanças conceituais.

Outro trabalho ligado à área de Biotecnologia é o de Nascimento (2005). A autora realiza em seu trabalho uma análise do discurso de dois textos sobre clonagem, sendo um deles um texto de divulgação científica e o outro, derivado do primeiro, um texto de livro didático brasileiro destinado à 7.<sup>a</sup> série do Ensino Fundamental. Utilizando-se da metodologia qualitativa de estudo de caso, a investigação dividiu-se em três etapas. Na primeira, caracterizou-se cada um dos textos quanto a propriedades relacionadas ao estilo, à composição e ao tema do discurso científico. A segunda etapa consistia em uma comparação entre os textos, buscando identificar as operações de reelaboração discursiva. A terceira e última etapa procurava verificar as relações entre os dois textos e as funções daquele encontrado no livro didático. A autora constatou que este último mantinha muitas características do discurso da divulgação, sendo sua principal função a de promover a

atualização do conteúdo, havendo, portanto, uma carência de conexões com os demais conteúdos do livro. Desse modo, a autora conclui que, apesar desse texto favorecer a atualização do tema, não há articulação de conhecimentos científicos com as diferentes possibilidades de suas aplicações e implicações.

Ainda dentre os artigos que analisam o conteúdo de tais materiais didáticos, outros trabalhos apresentavam como objetivo realizar um estudo iconográfico. É o caso de Escribano e Sahelices (2004) e Cástera *et al.* (2007).

Escribano e Sahelices (2004) procuraram descrever e caracterizar imagens de genes e cromossomos em livros didáticos venezuelanos. Segundo os autores, genes e cromossomos são conceitos que, ao serem ensinados, requerem o uso de imagens além de textos para sua compreensão, tanto por se tratarem de conceitos abstratos, como por se relacionarem ao universo microscópico. Para eles, a descrição e caracterização dessas imagens são importantes para que posteriormente se possa compreender como elas favorecem a aprendizagem significativa dos demais conceitos biológicos ligados aos conceitos de genes e cromossomos.

Já Cástera *et al.* (2007) investigaram imagens de irmãos gêmeos, em livros didáticos de 16 países, e constataram que geralmente estava presente a representação de gêmeos idênticos como pessoas que vestem roupas iguais, possuem o mesmo estilo de cabelo, a mesma postura corporal e expressão facial. Eles verificaram que apenas um livro dentre os 50 exemplares analisados apresentava uma imagem evidenciando diferenças relacionadas a essas características. Desse modo, na maioria dos materiais analisados, fica implícita a ideologia de que todas as características humanas são determinadas por genes. Os autores concluem que isso evidencia a existência de interações entre o ensino de conhecimentos científicos, o hereditarianismo implícito, o reducionismo e práticas sociais (referentes à escolha das imagens pelos autores) de difícil mudança.

Entretanto, o objetivo de Cástera *et al.* (2007) vai além da análise de imagens, inserindo-se na análise de valores e ideologias implícitas nos conteúdos presentes nos livros didáticos. Diante do profundo desenvolvimento dos conceitos de Genética nos últimos dez anos, que conseqüentemente distanciou os conhecimentos dessa área de valores reducionistas e ideias inativas, tais autores procuraram investigar como todo esse processo está presente também nos livros. Para tanto, investigaram a presença ou ausência do emprego da noção de programa genético (típica de valores inatos) ou da noção de informação genética. Os autores

obtiveram resultados diferentes: em determinados países há uma maior utilização da primeira noção e, em outros, utiliza-se mais a segunda.

Em suma, os trabalhos acima mencionados analisam os conteúdos dos livros didáticos investigando a abrangência de temas atuais, a sua adaptação a partir de textos de divulgação, as características de seus elementos iconográficos e os valores por eles veiculados. Tratam-se, portanto, de variados aspectos do conteúdo, diferentes dos analisados na presente pesquisa.

Outros trabalhos (EL HANI *et al.*, 2007 e GERICKE; HAGBERG, 2007) apresentam um enfoque mais próximo ao adotado nesta investigação, que pretende analisar conteúdos conceituais expressos no texto escrito.

Gericke e Hagberg (2007) procuraram identificar, categorizar e analisar modelos de função do gene em livros didáticos de Biologia e Química suecos, procurando compará-los com modelos científicos históricos (Mendeliano, Clássico, Clássico-Bioquímico, Neoclássico e Moderno). Para a identificação desses modelos, procuravam encontrar características epistemológicas tais como a relação entre o nível de organização e a definição da função do gene e a relação entre genótipo e fenótipo. Os modelos encontrados não eram expostos explicitamente, e sim implicitamente identificados. Foi encontrado com maior frequência o uso de modelos híbridos, o que, segundo a literatura mencionada pelos autores, pode ser prejudicial para o aprendizado de funções do gene.

A diferença entre esse trabalho de Gericke e Hagberg e o presente trabalho é que os autores focam a análise no conteúdo conceitual específico “gene”, procurando classificar as diferentes formas de sua abordagem, enquanto a pesquisa aqui realizada tem a intenção de analisar diferentes conhecimentos dentro de alguns tópicos mais abrangentes, fazendo a comparação de sua versão existente nesses livros didáticos com a bibliografia de referência.

O trabalho de El Hani *et al.* (2007) é o que mais se aproxima do aqui realizado. Os autores relataram os principais problemas conceituais sobre Genética, célula e Biologia Molecular encontrados em livros didáticos brasileiros de Biologia que foram excluídos, por motivos qualitativos, da lista de livros a serem escolhidos pelos professores de escolas públicas brasileiras para uso de seus alunos, na avaliação realizada em 2005 pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2007. A amostra, porém, é diferente daquela aqui abordada, a qual apresentará dados sobre livros aprovados nessa mesma avaliação governamental, assim como livros de um segundo contexto. Trata-se de livros que no momento da análise estavam sendo utilizados pelos alunos das localidades às

quais esses materiais pertenciam, não sendo, portanto, livros excluídos da lista de livros destinados à adoção nas escolas por deficiências em sua qualidade. É importante deixar claro que os dados apresentados na presente pesquisa, diferentemente dos dados descritos pelos autores, não se tratam dos dados da avaliação governamental em si, e sim de uma pesquisa independente. Outra diferença importante é que, apesar de ambas as pesquisas analisarem o rigor dos conhecimentos apresentados pelos livros didáticos com relação ao conhecimento acadêmico, o trabalho publicado por El Hani *et al.* destina-se à descrição de problemas conceituais encontrados nos materiais analisados, enquanto o enfoque aqui pretendido é uma análise das relações de aproximação e distanciamento entre os conhecimentos presentes nos livros didáticos analisados e os saberes acadêmicos, representados em uma bibliografia de referência.

Outros dois trabalhos encontrados em fontes diversas, não fazendo parte daquelas coletadas no levantamento bibliográfico mencionado, são os trabalhos de Martínez-Gracia e Gil-Quílez (2003) e Ferreira e Justi (2006).

Martínez-Gracia e Gil-Quílez (2003) realizaram um estudo sobre como os conteúdos relacionados à Engenharia Genética eram abordados em livros didáticos para o ensino secundário na Espanha. Para tanto, foi desenvolvida uma lista de verificação baseada em conhecimentos apresentados pela literatura sobre as concepções dos alunos e suas dificuldades correspondentes ao aprendizado de conteúdos na área de Genética e Biotecnologia.

Essa pesquisa verificou que aplicações da Engenharia Genética são extraordinariamente enfatizadas pelos livros didáticos analisados. Entretanto, verificou-se que, ao introduzir termos sobre o assunto, os livros deixam de realizar conexões com outros aspectos básicos da Genética. Não indicam, por exemplo, que o código genético e a composição do material genético são comuns em todas as espécies. Também não deixam claro que um gene inserido expressa uma proteína como produto de interesse ou é responsável pelo aparecimento de uma nova característica no organismo. Dentre outros conceitos básicos que deixam de ser abordados, também se identificou a falta de relações conceituais entre a estrutura e a função dos genes.

Os autores ainda identificaram uma carência de conexões apropriadas entre os conceitos. Há, por exemplo, livros que tratam do Projeto Genoma Humano, mas que não definem “sequenciamento de DNA” como a reunião de informações provindas do arranjo das

bases ao longo da molécula de DNA. Do mesmo modo, aplicações da terapia gênica são mencionadas dissociadas de informações sobre seu procedimento. Observou-se ainda a sobrecarga de detalhes técnicos, com pouca consideração sobre as possibilidades de compreensão do aluno de acordo com seu nível de ensino. As repercussões da Engenharia Genética também são extensivamente discutidas pelos livros. Entretanto, as repercussões predominantes nem sempre são relatadas e verificou-se um desequilíbrio quanto às vantagens e desvantagens.

Já Ferreira e Justi (2004), analisando como livros didáticos de Biologia e Química brasileiros tratavam o conteúdo DNA, investigaram se tais abordagens e modelos apresentados por esses livros contribuem para o aprendizado significativo desse tema. Basicamente, as autoras avaliaram vários aspectos relacionados à abordagem do tema e verificaram em qual momento do livro o assunto era tratado, constatando que o estudo do DNA realiza-se em momentos diferentes do Ensino Médio, no primeiro ano no caso do ensino de Biologia, e no último ano no caso do ensino de Química.

Outra questão analisada foi a forma de introdução do assunto. Enquanto a Biologia inicia com uma abordagem microscópica, tratando da composição química dos seres vivos, a Química primeiramente investe em aspectos macroscópicos, discutindo as propriedades dos materiais. Isso indica que o aluno é introduzido no estudo de moléculas orgânicas na Biologia, sem ainda ter contato com conhecimentos abordados pela Química com relação aos átomos, às ligações e às moléculas. Quanto à forma de apresentação dos conteúdos, as autoras ainda investigaram a contextualização histórica empregada, verificando que esta, na maioria dos livros, era breve e linear; a conexão entre os temas, constatando que o DNA é abordado independentemente do estudo de Genética; e a abordagem de temas da Ciência moderna divulgados pela mídia, escassos na amostra analisada e muitas vezes também abordados em textos complementares desconexos.

Quanto à questão da correção conceitual do conteúdo, as autoras verificaram que, nos livros de Biologia, encontravam-se alguns modelos de DNA em desacordo com os modelos científicos. Apresentavam, por exemplo, o carbono fazendo apenas três ligações em vez de quatro; os açúcares externos considerados como “corrimões” da dupla hélice, em vez de serem tratados como seus constituintes; além de elementos denominados pelas autoras de “erros” relacionados à conformação da estrutura do DNA. Entretanto, Ferreira e Justi não dão maiores explicações de como é realizada essa comparação do conhecimento presente nos

livros didáticos com o conhecimento científico, não ficando claro, portanto, qual a referência utilizada para representar esse conhecimento produzido pela Ciência.

Além de se diferenciar de pesquisas realizadas por outros pesquisadores, o presente estudo traz também novos elementos que não foram abordados em investigações anteriormente realizadas pelo próprio grupo de pesquisa no qual se desenvolveu. Em trabalho anterior (FRANZOLIN, 2007), alguns conceitos de Genética, assim como outros de outras áreas da Biologia, foram analisados, tais como material genético, cromossomo, gene, cromossomos homólogos, alelo, homozigose, heterozigose, fenótipo, genótipo, dominante e recessivo. Tratava-se de alguns conceitos básicos, no sentido de estarem presentes tanto em livros de Ensino Fundamental quanto em livros de Ensino Médio.

A presente pesquisa, diferentemente, envolve uma análise detalhada de outros tópicos da área, não explorados na pesquisa anterior, que por sua vez são aqueles mais mencionados como básicos para que estudantes do Ensino Médio se tornem cidadãos críticos, segundo professores e docentes brasileiros, e não apenas pela sua presença nos livros. Apesar de utilizar a mesma metodologia de análise para ambas as pesquisas, neste segundo caso a metodologia encontra-se mais aprimorada e com novos elementos, permitindo responder aos objetivos desta tese.

Em suma, o presente estudo propõe um trabalho que agrega novos elementos ao quadro atual de pesquisas. Espera-se que as novas variáveis investigadas possam contribuir para explicar alguns pontos obscuros na discussão sobre qualidade na educação em Ciências, tanto sobre o currículo de Genética quanto sobre a análise dos conteúdos dessa área nos livros didáticos.

Para facilitar a descrição do estudo realizado, a metodologia de pesquisa, os resultados e as discussões referentes a cada um dos dois objetivos desta pesquisa serão abordados separadamente nas duas próximas seções.

## **2 CONTEÚDOS BÁSICOS PARA OS ALUNOS DE ENSINO MÉDIO SEGUNDO PROFESSORES E DOCENTES**

### **2.1 METODOLOGIA**

#### **2.1.1 Os contextos da pesquisa**

Para verificar quais são os conhecimentos básicos que os alunos deveriam saber sobre Genética ao final do Ensino Médio para se tornarem cidadãos críticos, segundo professores deste nível de ensino e docentes universitários que lecionam disciplinas da área, foram realizadas entrevistas em dois contextos.

No primeiro contexto, foram entrevistados docentes das disciplinas de Genética e Biologia Molecular da Universidade de São Paulo (USP) e professores de Biologia de Ensino Médio de escolas da cidade de São Paulo.

Para validar os dados coletados neste primeiro contexto, entrevistaram-se também docentes da Western Michigan University (WMU) e professores da cidade que sedia seu principal campus, Kalamazoo (Michigan, Estados Unidos da América (EUA)). Desse modo, pretendia-se verificar se os resultados obtidos se aplicam a um contexto específico ou se podem ser aplicados para contextos diferentes. Assim, procuraram-se evitar vieses, buscando grupos diversos, sujeitos a influências socioculturais muito diversas.

Serão apontados aqui alguns elementos que, além dos fatores culturais, diferenciam os dois contextos, os quais poderiam de alguma forma estar influenciando os resultados desta pesquisa. Dentre eles estão o rendimento dos alunos, a formação dos professores, a qualidade das universidades e as diferenças do currículo.

Em 2009, ano em que as entrevistas se iniciaram em Kalamazoo, os dados do PISA sobre a média do desempenho dos estudantes em Leitura, Matemática e Ciências, e os dados particularmente sobre seu desempenho em Ciências, revelam que os Estados Unidos figuram-se em ambos os casos dentro da média dos países da Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico),

enquanto o Brasil encontra-se entre os países significativamente abaixo dessa média, em termos estatísticos (OECD, 2010).

Com relação à formação dos professores, os dados do Relatório Anual de Educação (Annual Education Report) do Departamento do Estado de Michigan de 2009 referentes às escolas públicas do Estado de Michigan mostram que 98% dos professores das escolas de educação elementar e secundária (Elementary e Secondary Schools) possuem ao menos o nível de bacharelado, e que 61% possuem minimamente o nível de mestrado. Já os dados equivalentes referentes às escolas públicas abrangidas pela Agência de Serviço Educacional Regional de Kalamazoo (Kalamazoo Regional Educational Service Agency – Kalamazoo RESA) revelam que 92% dos professores possuem ao menos o nível de Bacharelado e que 46% possuem minimamente o nível de mestrado (os dados dizem que os demais 8% dos profissionais apresentam outras qualificações, mas não especificam quais) (MICHIGAN DEPARTMENT OF EDUCATION, <http://aer.data4ss.org/>).

Já os dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), referentes ao ano 2007 (ano em que houve um estudo mais detalhado sobre os dados dos professores), mostram que, no Estado de São Paulo, embora 92% dos professores de educação básica e 94 % dos professores de Biologia do Ensino Médio possuam licenciatura, apenas 14% dos professores da educação básica possuem cursos de especialização ou outros cursos de pós-graduação, e menos de 2% dos professores da educação básica possuem pelo menos o nível de mestrado ou doutorado (MEC, <http://portal.inep.gov.br/basica-censo-escolar-sinopse-sinopse>).

A respeito das instituições de pesquisa e Ensino Superior, de acordo com o Academic Ranking of World Universities (Classificação Acadêmica das Universidades do Mundo – ARWU), em 2009, das 100 universidades mais bem classificadas do mundo, 55 estão nos EUA. Dentre elas aparecem a University of Michigan – Ann Arbor (Universidade de Michigan) e a Michigan State University (Universidade do Estado de Michigan), ambas no Estado de Michigan. Essa classificação é realizada por pesquisadores do Instituto de Educação Superior da Shanghai Jiao Tong University, na China, sobre a produção científica das universidades. Para tanto, considera, por exemplo, as premiações obtidas pelos pesquisadores, tais como Prêmios Nobel, número de pesquisadores citados e número de publicações nos periódicos *Nature* e *Science* e indexados no Science Citation Index (SCI). Nessa classificação, dentre as universidades brasileiras, apenas a Universidade de São Paulo

(USP) aparece na lista das 200 com maior classificação, sendo ela uma das universidades envolvidas na presente pesquisa. A WMU, segundo contexto no qual a pesquisa se desenvolveu, não aparece nessa classificação; entretanto, foi considerada em 2007 como a terceira melhor universidade em produtividade científica na área de Ensino de Ciências nos Estados Unidos, segundo o Top Research Universities Faculty Scholarly Productivity Index, dados de 2007 (THE CHRONICLE OF HIGH EDUCATION, <http://chronicle.com/stats/productivity>), e também há 20 anos vem sendo considerada uma das 100 melhores dos Estados Unidos segundo a classificação da U.S. News & World Report (U.S. NEWS & WORLD REPORT, <http://www.usnews.com/rankings>). Nesse último caso, é utilizado como critério principalmente a avaliação de pares acadêmicos de outras instituições, além da proporção de alunos por docentes, número de citações por docente e, em menor escala, a avaliação dos funcionários, a atratividade de estudantes e docentes internacionais. Na classificação mundial da U.S. News & World Report, a USP também aparece entre as 400 melhores do mundo, mais especificamente no 254.º lugar, posição não atingida pela WMU. Tanto essa última classificação como outras, tais como Webometrics (<http://www.webometrics.info>) e Times High Education (THE, <http://www.timeshighereducation.co.uk>), também mostram o predomínio das universidades estadunidenses entre as 100 melhores atualmente classificadas. Dentre essas listas, das universidades brasileiras, apenas a Universidade de São Paulo aparece dentre as 100 mais bem classificadas no Webometrics. Quanto às universidades de Michigan que aparecem novamente dentre as 100 mais bem classificadas dentro dessas listas, estão a University of Michigan (U.S. News & World Report, Webometrics, THE) e a Michigan State University (Webometrics).

Quanto ao currículo, em ambos os contextos as propostas foram implementadas na esperança de que um currículo unificador servisse como elemento que permitisse o controle da qualidade de ensino.

No Estado de Michigan, o Michigan Merit Curriculum (MICHIGAN, 2006) é um documento que deve ser seguido por todos os professores das escolas públicas para desenvolver suas aulas. A escola tem autonomia para ir além do estabelecido por esse currículo, mas deve obrigatoriamente seguir minimamente seu proposto. Já as escolas privadas ou paroquiais podem optar ou não por adotá-lo. Segundo informações constantes no próprio documento, geralmente muitas delas optam por segui-lo para que seus alunos estejam

preparados para o Michigan Merit Award – uma premiação concedida para os estudantes que possuem notável performance no exame MME (Michigan Merit Examination) –, e para o exercício do trabalho. No nível da *High School* (correspondente ao Ensino Médio brasileiro), os conteúdos básicos são geralmente abordados nos dois primeiros anos; nos demais, os alunos moldam sua grade com cursos mais específicos voltados aos seus interesses e dependendo da área na qual pretendem prosseguir seus estudos no nível superior.

O currículo de Michigan apresenta conhecimentos de Genética que são esperados como: *conhecimentos pré-requisitos* (para todos os alunos que iniciam a *High School*); *conhecimentos essenciais* (os quais todos os alunos devem aprender, independentemente das disciplinas cursadas na *High School*, sendo essenciais para a sua graduação nesse nível de ensino e avaliados pelo MME); *conhecimentos centrais* (os quais são cobrados dos alunos que cursam disciplinas específicas relacionadas à área, mas não são avaliadas no MME); e os *conhecimentos recomendados* (os quais são desejáveis para estudos avançados na disciplina, mas não são nem cobrados nas avaliações do MME e nem como requisito para obtenção de crédito nas disciplinas mais específicas relacionadas à área).

Já os conteúdos relacionados à Biotecnologia, por exemplo, não aparecem dentre os conhecimentos essenciais, mas apenas entre os conhecimentos centrais e recomendados. Para o documento, é central os alunos reconhecerem o potencial e as responsabilidades das técnicas de Engenharia Genética e é recomendado que eles aprendam a tecnologia do DNA recombinante.

Já no Estado de São Paulo, estava sendo implementada em novembro de 2008, no mesmo mês em que as entrevistas se iniciaram, a Resolução SE nº 76/08 (Art. 60.º, SÃO PAULO, 2010), a qual colocava a Proposta Curricular do Estado de São Paulo elaborada no mesmo ano como um documento que deve obrigatoriamente servir de base para que todas as escolas da rede estadual de educação formulem suas próprias propostas (SÃO PAULO, 2010). Diferentemente do currículo do contexto de Michigan, todos os conteúdos são colocados dentro da proposta com igual importância.

No caso do ensino de Biotecnologia, por exemplo, o documento especifica vários conteúdos a serem trabalhados com os alunos, tais como:

- Principais tecnologias utilizadas na transferência de DNA: enzimas de restrição, vetores e clonagem molecular;
- Engenharia Genética e produtos geneticamente modificados: alimentos, produtos farmacêuticos, hormônios, vacinas e medicamentos;

- Riscos e benefícios de produtos geneticamente modificados no mercado: a legislação brasileira (SÃO PAULO, 2008, p.53).

Em suma, é possível verificar que os dados acima, relacionados a alguns aspectos das duas localidades onde se desenvolveu o presente estudo, não revelam dois extremos, mas retratam realidades diferentes. É importante também deixar claro que não se tem aqui a pretensão de classificar um contexto melhor do que o outro, e sim mostrar por meio dos dados disponíveis alguns aspectos nos quais eles se diferem.

## **2.1.2 Composição da amostra de entrevistados e contatos**

A presente amostra foi composta de 24 entrevistados, seguindo os critérios a seguir descritos:

### **2.1.2.1 Amostra de São Paulo – São Paulo (SP)**

#### **2.1.2.1.1 Amostra de professores de São Paulo**

Para determinar a amostra de professores de Ensino Médio entrevistados, foi utilizado o critério da máxima variação (PATTON, 1990). Isso significa que essa amostra envolveu apenas poucos casos, porém os diferentes possíveis, procurando evitar vieses. Desse modo, pretendia-se evitar entrevistar apenas professores que trabalhavam em escolas onde os alunos tinham maior nível de aprendizado, ou apenas aqueles que trabalhavam em escolas onde os alunos possuíam um rendimento inferior.

Estabeleceu-se, portanto, que essa amostra seria composta de um professor de cada uma das três escolas cujos alunos tiveram ótimos índices de desempenho no ENEM de 2007 (Exame Nacional do Ensino Médio) na cidade de São Paulo e um professor de cada uma das três escolas cujos alunos tiveram os menores índices de desempenho nesse mesmo exame. Para

facilitar a referência a tais professores no texto desta tese, denominou-se o grupo de professores das escolas de desempenho inferior como Grupo 1 e o grupo de professores das escolas de melhor desempenho como Grupo 2. Esses dados foram obtidos no endereço eletrônico do Ministério da Educação (<<http://www.enem.inep.gov.br/>>). Desse modo, ao total foram entrevistados seis professores de Ensino Médio que conviviam com diferentes realidades escolares e alunos com diferentes níveis de aprendizagem. Acredita-se que a opinião desses professores quanto ao tema pesquisado era importante, já que eles estão próximos do cotidiano escolar e possuem experiência no que diz respeito ao ensino do tema abordado.

Procurou-se entrar em contato direto com as escolas e com docentes. Para agilizar o processo, tentou-se estabelecer o contato inicial por *e-mail* e por telefone, os quais, apesar de também requererem um tempo de espera para a resposta final, mostraram-se eficientes. Apenas duas das escolas contatadas negaram a participação, mesmo com contato presencial em secretaria, e outra não respondeu aos contatos, tendo sido, portanto, contatadas as próximas escolas da lista. Na maioria dos casos, o primeiro contato era com a secretaria da escola. Esta facilitava o contato com o coordenador ou com o diretor da instituição, o qual verificava a possibilidade de a entrevista ser realizada com um dos professores da unidade. Como um dos professores era conhecido pela pesquisadora deste trabalho, optou-se por entrar não somente em contato com a coordenação de sua escola, mas com ele próprio, o que facilitou a resposta.

Na constituição dessa amostra não se utilizou como critério de seleção a classificação da escola em pública ou privada, pois acredita-se que essa condição não é necessariamente determinante da qualidade da escola. Portanto, seguindo estritamente os critérios abordados nos parágrafos anteriores, a amostra ficou composta por três escolas públicas no Grupo 1 e uma escola pública e duas privadas no Grupo 2 (representadas por PB2 e PB6).

#### 2.1.2.1.2 Amostra de docentes de São Paulo

Para evitar vieses, utilizou-se novamente o critério da máxima variação. Portanto, procurou-se não entrevistar apenas docentes responsáveis pela disciplina Genética, para evitar

que uma possível tendência em valorizar o ensino da Genética Clássica influenciasse os dados. Desse modo, procurou-se compor metade da amostra de docentes por aqueles que lecionam Genética Molecular. A amostra, então, ficou composta por seis docentes, três de cada área – três docentes que lecionavam disciplinas sobre o ensino de Genética e três docentes que ensinavam disciplinas sobre o ensino da Biologia Molecular (a qual incluía o ensino da Genética Molecular). Alguns docentes entrevistados lecionavam as duas disciplinas.

A opinião deles era importante não apenas pelo fato de terem convivido com alunos que acabaram de chegar do Ensino Médio, mas também por esses docentes estarem envolvidos com as pesquisas acadêmicas da área de Genética e Biologia Molecular, o que os aproximam das produções recentes do conhecimento científico dessa área. Na época da entrevista, alguns docentes entrevistados ainda estavam participando de discussões recentes para o planejamento de novas disciplinas, refletindo sobre quais conhecimentos devem ter os futuros professores que estão sendo formados pela universidade.

Todos os contatos foram estabelecidos e respondidos por *e-mail*. Apenas dois dos docentes não apresentaram resposta, sendo então contatados outros docentes que se mostraram disponíveis.

#### 2.1.2.2 Amostra de Kalamazoo – Michigan (MI)

Como anteriormente mencionado, para validar os dados coletados na cidade de São Paulo e na Universidade de São Paulo, entrevistaram-se também docentes da Western Michigan University e professores das *High Schools* da cidade que sedia seu principal campus, Kalamazoo (Michigan, Estados Unidos da América (EUA)).

No Estado de Michigan, os alunos passam pelo nível de ensino da Elementary School (que inclui desde o Kindergarten, iniciado geralmente aos 5 anos de idade, até o 4.º ano), Middle School (do 5.º ao 8.º ano) e *High School* (do 9.º ao 12.º ano). Comparando, pode-se dizer que o nível da *High School* seria mais próximo ao Ensino Médio brasileiro, pelo menos no que diz respeito à faixa etária dos estudantes, os quais possuem aproximadamente entre 14 e 17 anos de idade.

Procurou-se aproximar a metodologia dessa etapa da coleta de dados o máximo possível daquela utilizada para realização das entrevistas no Brasil, para que variáveis pertinentes a diferenças metodológicas não influenciassem a interpretação dos dados. O tamanho da amostra de entrevistados e os critérios adotados em sua seleção foram os mesmos adotados em São Paulo, sendo relatados aqui basicamente os pontos que as diferenciam.

#### 2.1.2.2.1 Amostra de professores

Para selecionar os professores que ensinavam Biologia nas *High Schools* para serem entrevistados, também se utilizou o critério da máxima variação, assim como ocorreu no Brasil. Para tanto, recorreu-se aos resultados de exames realizados com os alunos desse nível de ensino disponíveis em endereços eletrônicos do governo, para comparar o desempenho entre as escolas e assim evitar escolher apenas escolas onde os alunos possuíam bons rendimentos em tais testes, ou escolas em que os alunos possuíam baixo desempenho. Portanto, consultou-se a página eletrônica do Departamento de Educação do Estado de Michigan ([http://www.michigan.gov/mde/0,1607,7-140-22709\\_31168-213744--,00.html](http://www.michigan.gov/mde/0,1607,7-140-22709_31168-213744--,00.html), acesso em 10 de outubro de 2009), a qual apresentava, como dados mais recentes, os resultados referentes ao primeiro semestre de 2009 de dois exames (spring tests), o ACT (American College Testing)<sup>1</sup> e o MME (Michigan Merit Examination). Ambos os exames são realizados com alunos do 11.º ano de ensino, ou seja, do 3.º ano da *High School*, nível que possui quatro. O ACT era no momento um exame opcional, enquanto o MME é aplicado para todos os alunos.

Foram realizadas duas listas incluindo todas as escolas do município de Kalamazoo, públicas e privadas, sendo cada lista referente a um dos exames mencionados. A inclusão dessas escolas foi realizada por ordem decrescente quanto aos resultados obtidos por seus alunos nesses exames, especificamente na área de Ciências. Desse modo, as escolas que

---

<sup>1</sup> O teste denominado ACT é realizado pela organização independente e sem fins lucrativos também denominada ACT.

apresentavam uma maior porcentagem de alunos considerados aptos para o Ensino Superior, no caso do ACT, eram ordenadas, aparecendo no início na lista. Similarmente, era realizado o mesmo procedimento com as escolas que tiveram a maior porcentagem dos alunos que atingiram ou superaram os parâmetros estabelecidos, no caso na lista do MME.

Dessas listas, procurou-se primeiramente contatar as primeiras escolas, que possuíam uma porcentagem maior de alunos que apresentaram desempenho desejável nesses exames, e as últimas escolas, com menor porcentagem de alunos que atingiram o mesmo resultado. Diante da resposta negativa ou da ausência de resposta, as escolas subsequentes das listas eram contatadas, até que se formou uma amostra composta de seis professores de seis diferentes escolas, sendo três pertencentes ao grupo de escolas com maior porcentagem de alunos aprovados (mais de 50%) e os outros três pertencentes ao grupo de escolas que obtinham menor porcentagem de aprovados (menos de 50%). O importante para a constituição da amostra, segundo o critério da máxima variação, era que em ambas as listas (lista de desempenho do ACT e lista de desempenho do MME) as escolas que compusessem a amostra se encontrassem divididas igualmente entre esses dois grupos e que no máximo duas delas apresentassem rendimento mediano, com a porcentagem de alunos aprovados sendo maior do que 40% e menor do que 60%. Cabe observar que escolas com rendimento mediano acabaram entrando na amostra, pois diferentemente de São Paulo, que possui um grande número de escolas, Kalamazoo, por ser uma cidade menor, apresenta um número bem menor de escolas. Enquanto a lista de São Paulo era de 1176 escolas, a lista de Kalamazoo era de apenas 19 escolas.

Na constituição dessa amostra, diferentemente do caso do Brasil, tomou-se cuidado com a composição da amostra quanto ao número de escolas públicas e privadas. Procurou-se evitar a escolha de apenas escolas de um determinado grupo, já que as escolas privadas eram geralmente religiosas. Ao dividir as 19 escolas nos dois grupos, segundo o desempenho dos alunos nos exames, três escolas privadas ficaram no primeiro grupo e uma no segundo. As demais escolas eram todas públicas. Conseguir contato com elas e aprovação para realização da entrevista trouxe mais desafios do que em São Paulo, onde uma escola desistente ou não respondente era facilmente substituída pela seguinte da lista. Desse modo, conseguiu-se compor ao final a seguinte amostra: três escolas públicas no Grupo 1 e uma pública e duas privadas cristãs no Grupo 2 (representadas por PE2 e PE5).

O estabelecimento dos contatos foi inicialmente realizado por correio eletrônico dirigido prioritariamente a um dos professores do Departamento de Ciências, ao diretor ou à secretaria da escola, dependendo dos contatos disponíveis no endereço eletrônico da instituição. Quando a resposta por *e-mail* não era obtida, encaminhava-se uma carta via correio impresso, inserindo um envelope selado para resposta. Em um caso, o contato foi feito pessoalmente com uma professora já conhecida.

#### 2.1.2.2.2 Amostra de docentes

Seguindo os mesmos critérios de seleção utilizados na Universidade de São Paulo, a amostra de docentes a ser entrevistada em Kalamazoo era composta por seis membros da Western Michigan University.

Para realizar os contatos com os entrevistados, um facilitador, o supervisor estrangeiro do estágio de pesquisa no exterior ligado a este projeto, enviou *e-mails* para todos os docentes do Departamento de Ciências Biológicas e foram entrevistados todos aqueles que aceitaram o convite, desde que lecionassem Genética ou Biologia Molecular, obedecendo ao critério de composição já descrito para o caso de São Paulo. Para complementar a amostra, também entrou-se em contato pessoal com mais dois docentes que aceitaram participar.

### 2.1.3 Planejamento e condução da entrevista

Segundo Minayo (1992), as entrevistas são conversas com finalidade, e se caracterizam pela sua forma de organização, sendo uma de suas modalidades a *entrevista focalizada*, a qual se optou por utilizar na presente pesquisa.

De acordo com a definição apresentada pela autora, a entrevista focalizada é aquela que se destina a esclarecer apenas um determinado problema. No caso da presente pesquisa, o problema seria conhecer quais são os conhecimentos básicos que os alunos deveriam saber

sobre Genética ao final do Ensino Médio, segundo docentes e professores. Portanto, ficou estabelecido que a entrevista giraria em torno dessa questão.

Os entrevistados foram solicitados a apontar esses conteúdos básicos, procurando justificá-los.

Procurou-se planejar alguns cuidados para se estabelecer o contato com esses docentes e professores, baseando alguns pontos nas sugestões de Minayo (1992):

- a) organização dos contatos: para facilitar a organização os dados dos entrevistados, assim como do desenvolvimento do contato, estes eram registrados em uma tabela construída com o programa Microsoft Excel;
- b) menção do objetivo da pesquisa: no *e-mail* ou telefonema de contato, procurava-se discorrer resumidamente sobre o trabalho a ser realizado, deixando claro seu objetivo, enfatizando a contribuição que a entrevista teria para a pesquisa e ainda mencionando as instituições às quais a pesquisa estava vinculada;
- c) garantia de privacidade sobre os dados: para assegurar aos entrevistados e às suas instituições que não se tratava de uma entrevista de mídia, procurou-se garantir certa privacidade aos dados. Para tanto, foi elaborado e enviado previamente ao entrevistado um Termo de Consentimento Livre Esclarecido (**APÊNDICE A**), o qual procurava esclarecer os objetivos da entrevista, suas justificativas, os direitos do entrevistado e, principalmente, lhes garantir certa privacidade. Desse modo, decidiu-se por não mencionar o nome dos entrevistados, nem de suas instituições, no texto da tese e em nenhuma de suas publicações. Estes serão apenas referidos por códigos e sua identificação será possível apenas através da consulta aos termos assinados, que ficarão arquivados sob a guarda do orientador desta pesquisa, podendo ser apresentados eventualmente em caso de solicitação de prova da autenticidade dos dados coletados. Quanto às entrevistas realizadas em Kalamazoo, foi necessária a elaboração de um termo de consentimento livre esclarecido próprio para a realidade e idioma local (**APÊNDICE B**), o que exigia um documento mais breve e objetivo;
- d) Preparação do entrevistado: para propiciar ao entrevistado uma reflexão prévia, foi-lhe enviado, um ou dois dias anteriores à entrevista, um *e-mail* contendo sua questão central: “Considerando-se o Ensino de Genética como importante para a formação de cidadãos críticos, em sua opinião, quais os conhecimentos básicos de Genética que os alunos

devem saber até o final de seu Ensino Médio. Pedirei a gentileza de justificá-los” (APÊNDICE C e APÊNDICE D);

- e) Confirmação da entrevista: um ou dois dias antes da entrevista, procurava-se entrar em contato com o entrevistado ou com sua instituição para confirmação;
- f) Conversa inicial: Em um caso específico foi essencial uma conversa prévia com a entrevistada no dia da entrevista, pois ela, com receio de ser prejudicada diante de seu depoimento, pensou em desistir de sua participação. Ao ser esclarecida presencialmente sobre os objetivos da pesquisa e a privacidade que lhe seria conferida, a entrevistada se sentiu mais segura e consentiu com sua participação. Os demais entrevistados não apresentaram a mesma insegurança e se demonstraram muito disponíveis a contribuir.

Inicialmente, foi também desenvolvida uma entrevista-teste com uma professora de Biologia que lecionou durante vários anos em escolas particulares de Ensino Fundamental e Médio. Os dados dessa entrevista não foram considerados nos resultados finais da presente pesquisa, mas em uma situação de teste essa entrevista foi transcrita e analisada por categorias.

Essa entrevista-piloto ajudou a confirmar que a metodologia estabelecida era suficiente para obter os dados desejados. Durante essa entrevista, a professora sentiu a necessidade de consultar um livro didático que havia na prateleira de sua sala para poder mencionar os conteúdos. Cogitou-se a hipótese de também utilizar uma lista de conteúdos da área para que os entrevistados a utilizassem, dando a abertura para que novos conteúdos pudessem também ser inseridos. A lista chegou a ser elaborada (ANEXO D), mas foi somente apresentada para um professor que demonstrou a necessidade de um auxílio. Preferiu-se não apresentá-la a todos, para evitar que esta influenciasse as respostas. Essa lista era composta pelos conteúdos de Genética para o Ensino Médio apresentados pelo PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio) e pelos conteúdos envolvidos nos exames do ENEM e da FUVEST (Fundação Universitária para o Vestibular).

As entrevistas foram realizadas no local de trabalho dos entrevistados, especificamente no recinto escolhido por eles: no laboratório, na sala dos professores ou em uma sala de aula. Em alguns casos, o entrevistado não estava sozinho no local, estando também presentes outros professores (dois casos) ou alunos (dois casos).

Com a autorização dos entrevistados, tanto a entrevista-teste como as demais foram registradas com um gravador digital de voz, o qual reproduz um som de qualidade suficiente para favorecer a transcrição. No decorrer da entrevista, ou após ela, registros escritos eram realizados, quando julgado necessário. Apenas em uma das entrevistas, aquela mencionada em que a entrevistada apresentou grande insegurança, não foi permitida a gravação, sendo possível apenas o registro escrito dos conteúdos mencionados.

As entrevistas tiveram dois momentos. No primeiro, houve a *coleta de dados sem intervenção*: o entrevistado falava sobre os conteúdos que julgava básicos somente com base na questão central da entrevista. Esses dados serviriam para verificar quais conteúdos eles consideram básicos. Conforme os entrevistados iam apresentando os conteúdos que julgavam importantes, eram apenas solicitados a explicar o motivo de sua escolha.

No segundo, houve a *coleta de dados com intervenção*, em que a pesquisadora realizava perguntas aos entrevistados sobre determinados conteúdos, procurando verificar a opinião dos entrevistados. No decorrer das várias entrevistas, na medida em que os argumentos a favor ou contra a inserção de determinados conteúdos no Ensino Médio eram mencionados pelos entrevistados anteriores, eram também apresentados aos novos entrevistados, procurando verificar se as opiniões eram as mesmas ou diferenciavam-se.

Em um caso específico (DB2), solicitou-se para a docente a complementação de algumas informações via *e-mail*.

#### **2.1.4 Transcrição das entrevistas**

Como as entrevistas realizadas foram, com exceção de uma, gravadas em áudio, elas foram transcritas manualmente.

Concordando com Carvalho (2007), são inseridas dentre os apêndices da tese as transcrições realizadas, para que outros pesquisadores possam avaliá-las e efetuar seus pareceres sobre a validade e fidedignidade deste trabalho.

Entretanto, como afirmam Marshall e Rossman (2006), é preciso considerar que os dados de uma entrevista, após passar por um processo de transcrição, não se caracterizam mais como dados brutos, e sim como dados processados.

Durante essa etapa, procurou-se ser o mais fiel possível às informações apresentadas pelos entrevistados. Portanto, não se substituíram termos por sinônimos, nem se omitiram as palavras truncadas que seriam importantes para a interpretação dos dados.

Quanto às correções dos aspectos gramaticais e dos problemas de pronúncia nas transcrições, segundo Carvalho (2007), há aqueles que defendem a sua prática e outros, não. Preferiu-se, para o propósito desta pesquisa, realizar tais correções e também omitir possíveis elementos próprios da língua falada que não afetam a interpretação dos dados, mas dificultam a leitura das transcrições.

Procurou-se também apresentar a transcrição total das entrevistas, eliminando-se apenas a pergunta inicial, que em todos os casos era a mesma enviada por *e-mail* aos entrevistados, e trechos considerados não relevantes ao objetivo da pesquisa.

Foram ainda utilizadas algumas normas apresentadas por Preti (1997) e Carvalho (2007). Inseriram-se a essas alguns outros elementos pertinentes à pesquisa em questão. O ANEXO B apresenta essas normas adaptadas, além dos códigos utilizados e seus significados.

O texto da transcrição das entrevistas encontra-se disponível no **APÊNDICE E**.

### **2.1.5 Metodologia da análise dos dados**

Após a transcrição, realizou-se a análise dos dados. Uma referência utilizada para auxiliar nesse processo foi Marshall & Rossman (2002, p. 155), que afirmam que o processo de análise de dados em uma pesquisa qualitativa é geralmente subjetivo e interpretativo. Nesse processo, o pesquisador busca nos dados afirmações sobre o tema estudado.

Essa afirmação é aplicável também ao presente trabalho, o qual, possuindo elementos de análise qualitativa, apresenta a subjetividade inerente à necessidade de interpretação dos dados.

Segundo Marshall & Rossman (2002, p. 155), o processo de análise envolve sete fases: a) organização dos dados; b) imersão nos dados; c) geração de categorias e temas; d) codificação dos dados; e) desenvolvimento de interpretações a partir de memorandos analíticos; f) busca de compreensões alternativas; e g) escrita de um relatório ou outro formato de apresentação do estudo.

A presente pesquisa preferiu tratar essas “fases” como procedimentos, e não necessariamente como ações que começam e terminam em uma sequência determinada, uma após a outra. Essa escolha deve-se ao fato de julgar-se mais prático e funcional que certas etapas desse processo ocorram simultaneamente. Desse modo, dados eram reorganizados conforme ocorriam os processos de imersão e categorização, atendendo às necessidades que emergiam; a categorização dos dados ia ocorrendo juntamente com o processo de imersão, conforme novas ideias iam surgindo; o desenvolvimento de interpretações a partir dos memorandos analíticos e dos dados organizados e categorizados ocorreram juntamente com a busca de compreensões alternativas, favorecendo um processo crítico constante, e a escrita do texto da tese, facilitando o registro das interpretações geradas. Assim, o processo de análise será a seguir detalhado, não seguindo necessariamente uma sequência de fases.

#### 2.1.5.1 Organização inicial dos dados e observações levantadas durante o processo de imersão nos dados

Nesta pesquisa, quanto à organização dos dados, todas as entrevistas foram transcritas e armazenadas cada qual com um código referente ao entrevistado. A letra inicial de cada código é *P* de professor ou *D* de docente. A segunda letra refere-se à sua nacionalidade, sendo *B* para brasileiro e *E* para estadunidense; o número final refere-se a um número de identificação. Assim, por exemplo, PB1 refere-se ao professor brasileiro entrevistado identificado pelo número 1.

O processo imersão dos dados iniciou com a tentativa de se desenvolver familiaridade com eles, verificando como os conteúdos e suas justificativas eram apresentados pelos entrevistados e buscando alternativas de análise, mais especificamente de categorização.

Verificou-se que um mesmo conteúdo podia ser citado por mais de um entrevistado, como, por exemplo, quando mencionam a “primeira e segunda lei de Mendel”. Há outros que podem ser abordados de diferentes formas; julgou-se que essas formas deveriam ser consideradas por trazer significados específicos que a categorização poderia omitir. Por exemplo, um dos entrevistados se referia à importância de se ensinar sobre “Codominação”. Julgou-se importante conservar essa expressão como um conteúdo, pois apesar de ele estar

associado ao tópico *Padrões de Herança*, nem todos os entrevistados que acreditam que ensinar esse último conteúdo seja importante podem necessariamente concordar com o ensino do primeiro. Desse modo, foi possível verificar que um conteúdo pode estar inserido dentro de outro, mas ao mencionar esse outro o primeiro pode não estar necessariamente incluído. Ou seja, as inclusões podem ser unilaterais e não mútuas. Julgou-se importante considerar esse aspecto na hora de elaborar as categorias, concluindo-se que os conteúdos podem ou não se incluir uns aos outros.

Verificou-se também que nem todos os conteúdos são conceituais e/ou estão explícitos, podendo ser procedimentais e/ou estarem implícitos, devendo também ser considerados.

As justificativas dadas pelos entrevistados eram muitas vezes apresentadas para um conjunto de conteúdos e outras vezes para conteúdos específicos. Durante a análise, era preciso organizar os dados de forma que uma mesma justificativa fosse conectada a todos os conteúdos ao qual ela se refere.

Foi ainda possível notar que trechos do texto transcrito podem ajudar a ilustrar as opções e as justificativas apresentadas pelos entrevistados. Entretanto, a retomada do seu contexto dentro do texto total da transcrição deve ser facilitada para que este possa ser consultado sempre que necessário, favorecendo uma interpretação mais completa dos dados. Desse modo, seria importante desenvolver um mecanismo que favorecesse a rápida retomada a esse contexto. Para tanto, inseriram-se em toda a transcrição marcadores temporais, visando facilitar a localização de trechos específicos dentro do texto transcrito e até mesmo a retomada ao áudio, quando necessária.

Para facilitar a compreensão do texto desta tese, sempre que se mencionar fora das tabelas uma categoria de conteúdo estabelecida, utilizar-se-ão letras iniciais maiúsculas e itálico.

#### 2.1.5.2 Codificação dos dados

Segundo Bardin (2007), o processo de codificação consiste na transformação dos dados em unidades para categorização e análise. Conforme a autora, ele envolve: 1) recortes:

escolha das unidades; 2) enumeração: definição das regras de contagem; e 3) definição das categorias por meio de classificação e agregação.

Quanto ao estabelecimento das unidades, foi necessário primeiramente se definir as *unidades de registro*. Para Bardin (2007), essas são unidades de significação, as quais se caracterizam como segmentos da mensagem que farão parte da contagem frequencial. Na presente pesquisa, definiu-se que a unidade de registro seria o conteúdo mencionado como básico.

Em seguida, foi necessário estabelecer as *unidades de contexto*. Segundo a autora, essas são segmentos do texto que permitem a compreensão das unidades de registro. No presente caso, essas unidades seriam o trecho da entrevista em que o entrevistado menciona o conteúdo e o justifica.

Quanto à enumeração, estabeleceu-se que, para cada entrevistado, a menção a um conteúdo seria considerada apenas uma vez. Portanto, para um mesmo entrevistado não haveria duas unidades de registro para um mesmo conteúdo.

### 2.1.5.3 Desenvolvimento de categorias

Segundo Patton (1990), a criação de categorias pode ser realizada a priori ou no decorrer da análise, ser proveniente do próprio entrevistado ou ser elaborada pelo pesquisador.

Inicialmente, pensou-se em utilizar conteúdos apresentados por livros didáticos ou grades curriculares para a construção das categorias. Dessa forma, as categorias seriam pré-estabelecidas pelo pesquisador, baseadas em documentos. Entretanto, quando o pesquisador estabelece as próprias categorias, corre-se o risco de estas estarem mais pautadas no mundo do pesquisador do que no mundo estudado (PATTON, 1990). Nesse caso, por exemplo, se esse procedimento fosse realizado, as categorias estariam limitadas à visão de conteúdo apresentada pelos documentos utilizados, em vez de na visão dos entrevistados. Além disso, ao estabelecer previamente uma estrutura de categorias, alguns dados podem não se encaixar nelas (PATTON, 1990). É preciso ser cuidadoso, nesse momento, para não provocar distorções forçando a inserção de dados em categorias nas quais não se encaixam.

Portanto, julgou-se pertinente estabelecer as categorias durante a análise, considerando, principalmente, aquelas provenientes da própria fala do entrevistado e baseando-se nos livros de referência e na amostra de livros didáticos adotada na segunda parte desta pesquisa, quando fosse pertinente, ou seja, quando fosse preciso verificar como os conteúdos são geralmente abordados para entender o significado do que é expresso pelos entrevistados e também para compreender como a relação entre esses conteúdos ocorre formando categorias inclusivas, aquelas que abrangem outras mais específicas.

#### 2.1.5.3.1 Geração da Tabela de Categorias e Justificativas

Para facilitar a categorização, desenvolveram-se tabelas que também permitissem a fácil retomada dos dados, tanto durante o processo de análise quanto posteriormente, permitindo ao leitor desta tese acessá-los.

Cada conteúdo identificado era associado a uma categoria que ia sendo reconhecida. Esses dados eram inseridos em duas tabelas diferentes, com propósitos distintos. A primeira tabela (APÊNDICE F) era a Tabela de Categorias e Justificativas. Nesta, os conteúdos mencionados por cada entrevistado (unidades de registro) eram inseridos em categorias, ilustrados com citações da fala dos entrevistados e associados com outros trechos contendo as justificativas que eles apresentavam (unidades de contexto). Seu objetivo era facilitar a análise por meio do acesso às citações dos conteúdos e suas justificativas correspondentes a cada categoria. Além disso, por conter a identificação do entrevistado que realizou a citação e seu tempo de gravação no áudio, serve como um recurso de acesso intermediário que facilita a associação dos dados presentes nas transcrições e os dados apresentados na Tabela de Menções e Inclusões (APÊNDICE G), explicada a seguir.

#### 2.1.5.4 Geração da Tabela de Menções e Inclusões

A segunda a tabela gerada é a Tabela de Menções e Inclusões (APÊNDICE G).

Nesta tabela, cada coluna foi direcionada a um entrevistado e cada linha, a uma categoria de conteúdo. Quando o entrevistado mencionava o conteúdo representado pela categoria como um conteúdo básico a ser ensinado no Ensino Médio, era inserido um sinal positivo e o espaço era iluminado de cinza claro. Quando o entrevistado mencionava que determinado conteúdo é secundário ou que não é importante ensiná-lo no Ensino Médio, essa menção era registrada com um sinal negativo e o espaço era iluminado de preto. Quando o entrevistado apresentava sua opinião sobre o ensino de um determinado conteúdo apenas após a sua menção pelo entrevistador, os sinais eram representados da mesma forma, mas o espaço era iluminado em cinza escuro. Quando uma categoria podia ser incluída em outra, no espaço referente à categoria inclusiva era inserida uma numeração (**n**) correspondente ao número da categoria incluída. Ao falar que ensinar a *Expressão gênica* é importante, por exemplo, o entrevistado estava, de certa forma, dizendo que acredita que a *Genética Molecular* deve ser ensinada, mesmo não mencionando esse termo. Desse modo, *Expressão gênica* é uma categoria que está diretamente incluída na categoria *Genética Molecular*; portanto, sempre que foi mencionada, dois registros são realizados, um na categoria *Expressão gênica* e outro na categoria *Genética Molecular*, sendo esta última uma categoria inclusiva da primeira. Esse processo de inclusão de categorias, será mais bem detalhado na próxima seção (2.1.5.4.1). Ele visa facilitar a análise, pois dá a real dimensão de o quanto conteúdos mais abrangentes foram mencionados, sem desconsiderar os conteúdos mais específicos. Mesmo quando o entrevistado já citara o conteúdo inclusivo diretamente, o registro com o número do conteúdo incluído era realizado para facilitar a procura de justificativas associadas à menção de determinados conteúdos como básicos. Por exemplo, se um entrevistado dissesse que ele julga importante ensinar sobre biotecnologias na Genética e depois mencionasse que acredita que é importante ensinar sobre os experimentos realizados com células-tronco, a justificativa associada a esse último conteúdo poderia auxiliar a justificar o primeiro, pois um está incluído no outro. Portanto, além do sinal de + referente à citação direta do conteúdo, era assinalada na célula referente ao conteúdo *Biotecnologia* o número do tópico *Células-tronco*; assim, quando se desejasse saber quais as justificativas apresentadas pelos entrevistados para o ensino desse primeiro conteúdo, saber-se-ia que as justificativas dos conteúdos incluídos mencionados ali numerados deveriam ser consultadas.

As categorias foram sendo disponibilizadas na tabela de forma que os conteúdos correlacionados estivessem próximos uns aos outros. Foram também numeradas para facilitar

a utilização da tabela e facilitar o processo de inclusão de categorias menores em categorias maiores.

Essa tabela foi elaborada visando permitir a análise qualitativa dos dados, e não apenas quantitativa. Ao se identificar, por exemplo, que um certo conteúdo era predominantemente mencionado como básico por um grupo de entrevistados e não por outro, poder-se-ia com maior facilidade verificar quais entrevistados da amostra mencionaram esses conteúdos como básicos e explorar elementos qualitativos associados a esses docentes e professores que ajudassem a elaborar hipóteses sobre as possíveis explicações para os dados.

#### 2.1.5.4.1 Inclusão de categorias

Durante as entrevistas, vários conteúdos eram mencionados pelos candidatos, alguns mais gerais e outros mais específicos. Para favorecer a comparação e análise dos dados, julgou-se importante associar os conteúdos mais específicos em categorias mais abrangentes, sem no entanto excluí-los da tabela, pois esta funciona como um resumo da diversidade de respostas dos entrevistados e, eventualmente, um conteúdo específico poderia ser preponderantemente mencionado, revelando a importância dada a ele pelos entrevistados.

Para realizar essa inclusão, estabeleceram-se alguns critérios. Primeiramente, definiu-se que conteúdos amplamente inclusivos, os quais incluíam grande parte do conteúdo de Genética por serem muito representativos do significado dessa área como um todo, não sofreriam inclusões. O conteúdo 2. *Como as pessoas desenvolvem as características físicas que possuem* é um exemplo desse tipo de conteúdo. Ele praticamente engloba grande parte de outros conteúdos abordados. Quando se mencionam meios e padrões de herança, fala-se de como essas características são adquiridas pelo indivíduo; quando se cita expressão gênica, reporta-se a como elas se expressam; e ainda, refere-se a elas quando se menciona *crossing over*, recombinação, mutação, entre outros. Desse modo, julgou-se desnecessário criar uma única categoria que incluísse praticamente todas as outras. Uma categoria única não facilitaria comparações, ao contrário de várias categorias de abrangência intermediária que servissem como conteúdos gerais, englobando conteúdos específicos.

Como critério básico para a inclusão de conteúdos, considerando-se A e B dois conteúdos quaisquer, estabeleceu-se que o conteúdo B seria incluído na categoria A se, ao falar de B, o entrevistado estivesse necessariamente falando de A.

Considerou-se também que, em alguns momentos, estava claro que, quando o entrevistado X estava falando do conteúdo B, estava necessariamente falando do conteúdo A, e nesse caso a inclusão de B em A para o entrevistado X era realizada. Mas, ao mesmo tempo, essa inclusão pode não estar clara no discurso de um outro entrevistado, por exemplo o entrevistado Y. Nesse caso, para o entrevistado Y a inclusão do conteúdo B em A não era realizada.

É importante atentar a que muitas vezes as categorias inclusivas não são mutuamente inclusivas. No exemplo citado anteriormente, não podemos dizer que, ao mencionar o conteúdo Genética Molecular, o entrevistado esteja necessariamente defendendo o ensino da Expressão Gênica. Ele poderia estar se referindo apenas ao ensino da estrutura molecular do DNA, ou da sua duplicação.

Em alguns casos, algumas categorias foram criadas especificamente para facilitar a inclusão de conteúdos, como no caso do tópico *Reprodução*. Apesar de este não ter sido diretamente mencionado pelos entrevistados, outros incluídos foram mencionados, julgando-se pertinente criar uma categoria onde todos apareçam agrupados.

Sendo o objetivo incluir categorias mais específicas dentro de categorias mais abrangentes, as inclusões foram todas realizadas com esse propósito.

É ainda importante destacar alguns detalhes sobre a inclusão de alguns tópicos.

Especificamente sobre o conteúdo *Leis de Mendel*, apesar de ser um conteúdo que está associado a um episódio da História da Genética, preferiu-se não incluí-lo na categoria *História da Genética* e outras relacionadas, devido à possibilidade de o professor, ao ensinar as leis de Mendel, se referir a Mendel e seus experimentos mais com o propósito de ensinar os padrões de herança, pois vê isso sendo ensinado frequentemente dessa forma, do que uma pretensão de ensinar um tópico da História da Ciência.

É preciso ficar claro também que as inclusões não podem ser consideradas no sentido estrito do vocabulário utilizado na nomenclatura da categoria inclusiva. Ao incluir *heterozigoto* em *heterozigose*, não significa que a menção do entrevistado seja específica à definição de heterozigose, ou seja, que ele realmente mencionou que se deve ensinar o que significa o termo heterozigose, e sim que, em suas menções, disse indiretamente, referindo-se

a heterozigoto, que considera importante ensinar aos alunos sobre um fenômeno que, para facilitar aqui sua categorização, denominou-se heterozigose.

#### 2.1.5.5 Divisão dos dados por grupos de entrevistados

Para realizar a análise e elaborar a Tabela de Categorias e Justificativas, dividiram-se os dados por grupos de entrevistados.

Primeiramente, julgou-se importante analisar os dados coletados nos dois contextos (São Paulo e Kalamazoo) separadamente, já que o objetivo de realizar a coleta de dados nesses dois contextos era validar os dados coletados no Brasil, verificando se os resultados obtidos se aplicam a um contexto específico ou se podem ser aplicados a contextos diferentes. Dessa forma, os entrevistados de cada localidade foram agrupados em dois *grandes grupos*: o *grande grupo dos entrevistados de São Paulo* e o *grande grupo dos entrevistados de Kalamazoo*. Os dados do primeiro grande grupo foram analisados e comparados com os do segundo, buscando similaridades e diferenças de opiniões.

Foram também examinados isoladamente os dados coletados no grupo de professores e no grupo de docentes, e depois contrastados, para verificar se a opinião dos entrevistados era a mesma nos dois grupos. Portanto, em cada grande grupo foram formados dois *subgrupos*, o *subgrupo de professores* e o *subgrupo de docentes*.

Para verificar se a resposta desses entrevistados não está sendo influenciada pela facilidade que seus alunos têm ou não para aprender (no caso dos professores) ou pela sua familiaridade com a área de Genética ou Biologia Molecular (no caso dos docentes), também se dividiu cada subgrupo em *grupos menores*. Com relação aos professores, foram criados o *grupo menor 1* (correspondente aos professores que lecionam em escolas onde os alunos apresentaram menor desempenho nos testes) e o *grupo menor 2* (correspondente aos professores que lecionam em escolas onde os alunos apresentaram melhor desempenho nos testes); com relação aos docentes, o *grupo menor genética* (correspondente aos professores que lecionam disciplinas relacionadas à área de Genética) e o *grupo menor Biologia Molecular* (correspondente aos professores que lecionam disciplinas relacionadas à área de

Biologia Molecular). É importante deixar claro que a intenção era agrupar os dados de maneira a perceber possíveis vieses derivados da origem dos entrevistados.

#### 2.1.5.6 Análise dos dados mencionados com intervenção e dos dados mencionados sem intervenção

Como mencionado na seção 2.1.3, as entrevistas foram divididas em duas partes: *coleta de dados sem intervenção* e *coleta de dados com intervenção*. Os dados foram analisados separadamente. Os dados sem intervenção foram utilizados para saber quais foram os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados. Os dados coletados com intervenção serviram para verificar a opinião dos entrevistados sobre alguns conteúdos específicos, como a opinião sobre o ensino ou não dos conteúdos de Biotecnologia relacionados à Genética como prioritários.

#### 2.1.5.7 Análise quantitativa

Para favorecer a análise quantitativa, os dados da Tabela de Menções e Inclusões (**APÊNDICE G**) foram transferidos para uma planilha do programa Excel.

Para a construção dessa tabela, fez-se a correspondência das informações a números (-1 'mencionado como não básico com intervenção' ou 'mencionado como não básico sem intervenção'; 0 'não mencionado'; 1 'mencionado com intervenção' ou 'mencionado sem intervenção').

A partir dessa tabela e com o uso do programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, versão 17.0), foi possível quantificar os dados obtidos, gerar novas tabelas e gráficos, verificar a distribuição das menções e quais eram os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos nos diferentes grupos de entrevistados.

#### 2.1.5.8 Desenvolvimento de classes de categorias de conteúdos de acordo com a preponderância das menções

Após quantificar os dados, para facilitar a sua análise e descrição, elaborou-se um critério, baseado nos resultados quantitativos, para classificar os conteúdos de acordo com a preponderância de suas menções.

Esse critério foi baseado na *porcentagem* da frequência de menções dos conteúdos. Sabe-se que, por se tratar de uma amostra pequena com grupos pequenos de 3 entrevistados, seria mais apropriado apresentar ao leitor os dados absolutos, para que ele tivesse uma maior clareza de que 33,33% de um grupo menor corresponda a apenas 1 entrevistado. Entretanto, como era necessário estabelecer critérios de classificação das frequências preferencialmente comuns a todos os grupos, resolveu-se manter o uso das porcentagens, deixando aqui claro para o leitor que esta pesquisa trabalha com uma amostra de apenas 24 entrevistados subdivididos em grupos que contém 12, 6 ou 3 entrevistados.

O Gráfico 1 e o Gráfico 2 mostram que a maioria dos conteúdos tiveram poucas menções, o que reforça a importância das inclusões realizadas, ou seja, a inclusão de alguns conteúdos mais específicos em outros mais abrangentes. Isso é possível verificar também pelas médias da porcentagem de menções entre os entrevistados de apenas 8,6% (São Paulo) e 9,8% (Kalamazoo), e o desvio-padrão de 13,5% (São Paulo) e 13,2% (Kalamazoo) – ou seja, mais de 100% maior do que a média –, números que reforçam essas informações.

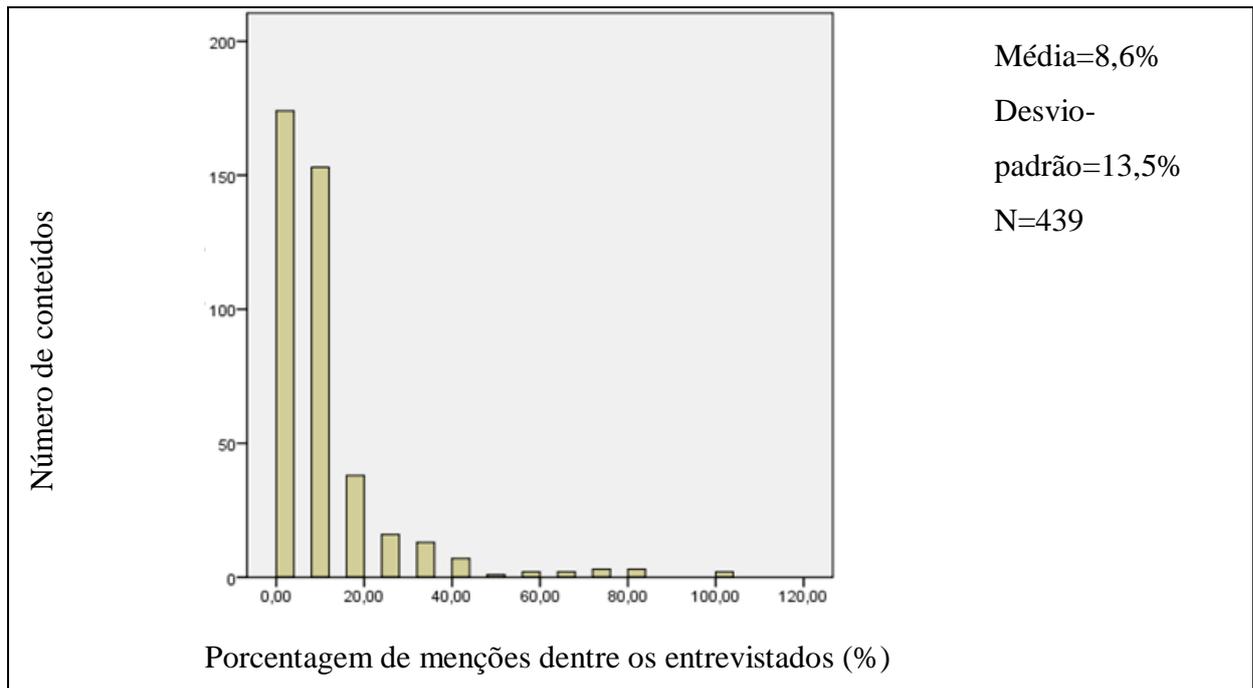


Gráfico 1- Distribuição da frequência dos conteúdos mencionados como básicos (sem intervenção) pelos 12 professores/docentes entrevistados de São Paulo (SP)

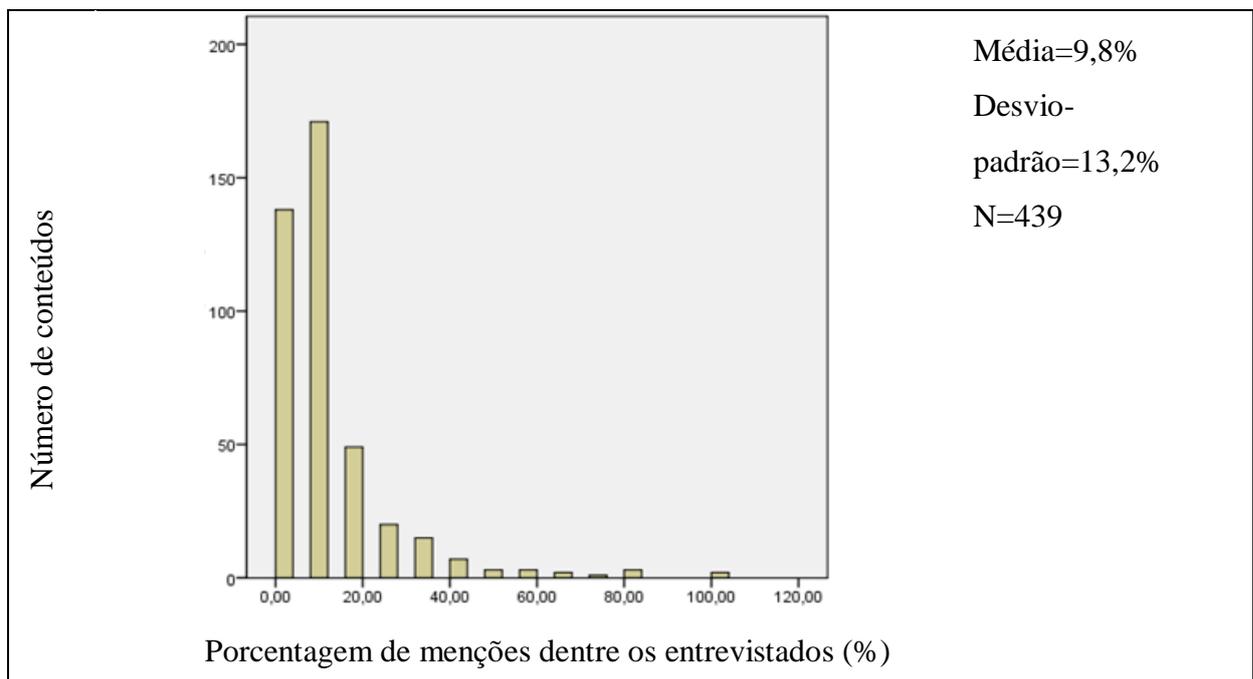


Gráfico 2 - Distribuição da frequência dos conteúdos mencionados como básicos (sem intervenção) pelos 12 professores/docentes entrevistados de Kalamazoo (MI)

Na Tabela 1 é possível verificar que somente a partir do quarto percentil é que se verificam alterações mais expressivas nos dados, o que levou à conclusão de que a análise dos dados poderia se concentrar a partir daí.

Tabela 1 - Percentual de menções como básicos (sem intervenção) para os conteúdos referidos pelos professores e docentes entrevistados em São Paulo e Kalamazoo (Número de conteúdos mencionados = 439)

Estatísticas		São Paulo - SP (12 entrevistados)	Kalamazoo - EUA (12 entrevistados)
Média		8,6	9,8
Desvio-Padrão		13,5	13,2
Mínimo		0	0
Máximo		100,0	91,7
Percentil	10	0	0
	20	0	0
	25	0	0
	30	0	0
	40	0	8,3
	50	8,3	8,3
	60	8,3	8,3
	70	8,3	8,3
	75	8,3	8,3
80	8,3	16,7	
90	25,0	25,0	

A partir da exploração inicial dos resultados, para se definir as classes de menção de um determinado conteúdo de acordo com a sua preponderância, tomaram-se os conteúdos com *pelo menos uma menção como básicos* pelo conjunto de professores/docentes entrevistados (ou seja, com porcentagem de menções maior ou igual a 8,33%) e realizou-se a redistribuição para esse conjunto selecionado de dados (Tabela 2). Como se pode verificar, a tabela mostra mudança expressiva somente a partir do terceiro quartil, ou seja, a partir do percentil 75.

Portanto, estabeleceu-se que os conteúdos mencionados como básicos por uma porcentagem igual ou menor do que 16,67% dos entrevistados (valor do 3.º quartil) seriam considerados como conteúdos *pouco mencionados como básicos ou não mencionados como básicos*.

Tabela 2 - Percentual de menções como básicos (sem intervenção) para os conteúdos referidos pelos professores e docentes entrevistados em São Paulo (Número de entrevistados = 12; Número de conteúdos mencionados = 238) e Kalamazoo (Número de entrevistados = 12; Número de conteúdos mencionados = 275)

Percentuais de menções (%)		
Estatísticas	São Paulo	Kalamazoo
Média	15,8	15,7
Mediana	8,33	8,33
Desvio-Padrão	14,8	13,7
Mínimo	8,33	8,33
Máximo	100,0	91,67
Percentil 10	8,33	8,33
20	8,33	8,33
25	8,33	8,33
50	8,33	8,33
75	16,67	16,67
80	18,33	25,00
90	33,33	33,33
95	42,08	41,67

Também se verificou que ainda no nono decil encontra-se a porcentagem de 33,33%, o que significa que menos de 10% dos conteúdos foram mencionados por mais de 33,33% dos entrevistados. Desse modo, estabeleceu-se que os conteúdos com mais de 33,33% de menções seriam considerados como *preponderantemente mencionados como básicos*.

Já os conteúdos com uma porcentagem de menções superior a 16,33 e inferior ou igual a 33% foram considerados como *moderadamente mencionados como básicos*.

Tais critérios foram mantidos para todos os grupos, pois se considerou razoável a correspondência entre as porcentagens e o número absoluto de menções dentro dos grandes grupos, subgrupos e grupos menores.

#### 2.1.5.9 Comparação dos dados

Esta pesquisa gerou uma grande quantidade de dados. Apesar de trazerem informações de interesse, para viabilizar o presente trabalho, dentro de suas possibilidades dimensionais, a análise aqui realizada foi focada em alguns elementos específicos, sendo que outros dados ficarão disponíveis e podem ser explorados em trabalhos futuros. Dessa forma, a comparação dos dados foi realizada em três etapas. A primeira etapa consistiu na verificação dos conteúdos preponderantemente mencionados como básicos. Na segunda etapa, procurou-se analisar as justificativas dos conteúdos mais preponderantemente mencionados. Na terceira e última etapa, analisou-se a opinião dos entrevistados sobre o ensino como básico de um conteúdo específico, *Aplicações da Genética (Biotecnologia)*.

#### 2.1.5.9.1 1ª. Etapa: identificação dos conteúdos preponderantemente mencionados como básicos

Para verificar quais eram os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de São Paulo, ordenaram-se os tópicos de acordo com a sua porcentagem de menções, na Tabela 3 (seção 2.2.1.1, página 88)<sup>2</sup>. Os conteúdos mais preponderantemente mencionados encontravam-se no início da tabela, seguidos pelos moderadamente mencionados e pelos pouco ou não mencionados. Devido à distribuição dos dados ser mais expressiva apenas a partir do 3.º quartil, conforme já foi explicado na seção 2.1.5.8 e na Tabela 2, utilizaram-se para a construção da Tabela 3 apenas os dados a partir desse quartil, ou seja, consideraram-se apenas os conteúdos com mais de 16,67% de menções. Para facilitar a visualização dos dados, essas duas tabelas foram construídas utilizando-se uma legenda de cor, empregando-se cores diferentes para marcar conteúdos preponderantemente, moderadamente ou pouco mencionados dentro dos vários grupos.

---

<sup>2</sup> A referida tabela trata-se de uma tabela sintetizada, já que, a partir de uma primeira tabela de origem, foram excluídos alguns conteúdos cuja essência já estava contemplada no diálogo dos entrevistados em outro conteúdo inclusivo ou incluído, ou seja, sua eliminação não causaria problemas substanciais para a interpretação dos dados. A tabela original, bem como a lista de conteúdos mantidos e excluídos encontra-se no

Para validar os dados obtidos no contexto de São Paulo, construiu-se uma tabela similar para os dados de Kalamazoo, Tabela 4 (seção 2.2.1.1), e procurou-se verificar se os dados obtidos em um contexto eram semelhantes aos do outro contexto.

A Tabela 5 (seção 2.2.1.1) foi também construída para facilitar a comparação dos resultados dentro dos grandes grupos (São Paulo e Kalamazoo).

Após indentificar os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos, verificou-se se a preponderância ocorria nos dois subgrupos docentes e professores, ou se era específica a um grupo e pouco mencionada no outro. Ao se verificar, na coluna referente aos subgrupos (professores e docentes), as cores lilás e amarelo numa mesma linha, era fácil perceber que aquele conteúdo foi preponderantemente mencionado por um subgrupo, mas pouco pelo outro, mostrando um distanciamento entre os resultados para os dois grupos.

Nos conteúdos que apresentavam tal diferença entre os grupos, procurou-se verificar também nos grupo menores se as menções estavam concentradas em apenas um deles. Nesse caso, as cores utilizadas para as diferentes classes de conteúdos também facilitaram a identificação de tais conteúdos. Se o conteúdo analisado possuía no grupo menor a cor lilás referente ao fato de ser preponderantemente mencionado, isso significava que *todos* os entrevistados desse grupo mencionaram o conteúdo como básico; por sua vez, quando no grupo menor a cor amarela aparecia, isso significava que o conteúdo não foi mencionado por nenhum entrevistado daquele pequeno grupo. Portanto, para verificar se um conteúdo X preponderantemente mencionado pelos professores e pouco mencionado pelos docentes tinha a suas menções concentradas em apenas um dos professores (grupos menores G1 ou G2), bastava verificar se na coluna referente a tais grupos menores e ao conteúdo em questão havia as cores lilás e amarela. Em caso positivo, isso significava que as menções se concentravam em apenas um dos grupos menores.

Ainda retornou-se à Tabela de Menções e Inclusões (**APÊNDICE G**), para se verificar se havia algum conteúdo que era mencionado ou não exclusivamente por aqueles professores de escolas particulares ou cristãs dentro de cada um dos dois contextos.

#### 2.1.5.9.2 2.<sup>a</sup> Etapa: Análise das justificativas dos entrevistados e consideração dos memorandos analíticos

Nesta parte da análise, procuraram-se indícios que ajudassem a compreender os dados quantitativos obtidos pela análise mencionada na seção anterior, especificamente quanto àqueles conteúdos mais preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de São Paulo, já que se trata do contexto de interesse prioritário para essa entrevista.

Apesar de os conteúdos focados nesta análise serem os mais preponderantemente mencionados como básicos no contexto de São Paulo, utilizaram-se a justificativa e memorandos analíticos extraídos das entrevistas de todos os participantes (de São Paulo e Kalamazoo) para compreender: 1) por que tais entrevistados consideram esses conteúdos como básicos; 2) as ressalvas envolvidas nessa sua consideração.

Para tanto, utilizou-se a Tabela de Categorias e Justificativas (APÊNDICE F), a qual já dispunha de justificativas e memorandos organizados. Não foram apenas consideradas as justificativas do conteúdo em si, mas também aquelas referentes aos seus conteúdos incluídos. Tais justificativas foram copiadas da tabela juntamente com os memorandos presentes nesse arquivo e agrupadas em uma lista por similaridades. Em seguida, essa lista foi sendo entremeadada pela redação da análise, dando origem ao texto presente a seguir (seção 2.2.2), cujas palavras e expressões-chave para cada agrupamento estão destacadas em itálico.

Os conteúdos considerados como básicos apenas após a sua menção pela entrevistadora foram incluídos na análise, deixando explícita essa condição de citação.

Também foi verificado se havia discondâncias entre os entrevistados, ou seja, se havia conteúdos considerados como básicos por parte de alguns entrevistados, mas como não básicos por outros. Portanto, as justificativas e argumentos negativos também foram explorados.

Cabe ainda mencionar que algumas justificativas apresentadas pelos entrevistados são gerais (como é possível verificar na Tabela de Categorias e Justificativas, APÊNDICE F), ou seja, referentes a um conjunto de conteúdos apresentados por eles e não apenas a um único conteúdo. Apesar da eventual possibilidade de tais respostas estarem voltadas mais para alguns tópicos mencionados do que para outros, todas essas justificativas foram consideradas na análise, pois, *a priori*, sua função seria fundamentar todos os conteúdos listados pelos

entrevistados. Entretanto, procurou-se deixar mais explícitos certos casos, quando a correspondência da justificativa geral a determinado conteúdo se torna mais questionável.

#### 2.1.5.9.3 3.<sup>a</sup> Etapa: Análise da polêmica em torno de um conteúdo específico: *Aplicações da Genética (Biotecnologia)*

Como durante as primeiras entrevistas verificou-se que havia uma polêmica entre os entrevistados quanto ao ensino ou não de *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* como um conteúdo básico, procurou-se durante as entrevistas realizar algumas intervenções perguntando aos entrevistados suas opiniões sobre esse conteúdo. Dessa forma, uma terceira parte da análise procurou analisar os dados especificamente relacionados a esse tópico e contrapor as opiniões dos entrevistados a respeito do seu ensino, utilizando-se também a Tabela de Categorias e Justificativas (APÊNDICE F).

#### 2.1.5.10 Considerações sobre os dados coletados e analisados

Algumas considerações a respeito dos dados coletados e sua análise devem ser feitas.

Primeiramente, é preciso considerar os possíveis elementos influenciadores das respostas obtidas nas entrevistas. É possível que o expressado pelos entrevistados não corresponda, em realidade, à sua opinião. Ao participarem como fornecedores de dados a uma pesquisa, eles podem ter expressado as ideias que julguem ser mais aceitas no contexto acadêmico e ocultado algumas opiniões particulares, até mesmo aquelas utilizadas na sua prática profissional, julgando-as como possíveis alvos de críticas. Pode-se notar, por exemplo, que os discursos coletados nas entrevistas com os docentes de São Paulo e com professores do

Grupo 2<sup>3</sup> da mesma localidade são mais elaborados, com mais argumentos, em comparação àqueles encontrados entre a maioria dos entrevistados dos demais grupos. Há a possibilidade de a preocupação com a postura acadêmica ter influenciado não somente suas falas, mas também as ideias nelas expressas.

Outra questão a ser considerada é a interpretação da pesquisadora diante dos dados. Mesmo tendo-se o cuidado de se escolher localidades de pesquisa com as quais a convivência da pesquisadora lhe trouxesse mais elementos para auxiliar na compreensão do contexto dos entrevistados, é preciso se considerar que o conhecimento desse cenário tem suas limitações. Além disso, a pesquisadora, ao realizar a análise dos dados, a faz utilizando sua própria visão sobre eles e seu contexto, a qual poderia não ser a mesma se desenvolvida por outros pesquisadores, pois cada qual carrega suas próprias visões sobre esses elementos.

## 2.2 RESULTADOS

### **2.2.1 Parte 1. Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos: sem intervenções**

Serão apresentados aqui os resultados referentes aos conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados, sem intervenção, ou seja, de maneira espontânea<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 2, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do ENEM (2007).

<sup>4</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, consideram-se aqui apenas os conteúdos mencionados pelos entrevistados como básicos em resposta à questão central da entrevista, sem considerar os demais conteúdos mencionados após a intervenção da pesquisadora, a qual adicionou novas questões.

### 2.2.1.1 Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos dentro dos grandes grupos (entrevistados de São Paulo e entrevistados de Kalamazoo)

Como é possível verificar na Tabela 3, os conteúdos mais preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados em São Paulo são *Padrões de Herança* (100%) – principalmente *Leis de Mendel* (83,3%) –, *Divisão Celular* (83,3%) e *Genética Molecular* (75%).

Tabela 3 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de São Paulo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de São Paulo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular<sup>5</sup>; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

Conteúdos mencionados por Entrevistados de São Paulo (São Paulo)	PM %	Subgrupos		Grupos Menores			
		Profs	Docs	G1	G2	GG	GBM
<b>Preponderantemente mencionados como básicos</b>							
146. Padrões de herança	100,0						
147. Leis de Mendel (herança monogênica e digênica; lei da segregação igual e segregação independente)	83,3						
85. Divisão celular	83,3						
213. Genética Molecular	75,0						
250. Expressão gênica (Síntese de Proteína)	66,7						
336. Aplicações da Genética / Biotecnologia	58,3						
124. Gene	58,3						

<sup>5</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 2, no mesmo contexto, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho em tal exame. Grupo Genética e Grupo Biologia Molecular corresponde aos grupos de docentes que lecionam disciplinas em cada uma das áreas mencionadas.

Continua. Tabela 3 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de São Paulo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de São Paulo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

Preponderantemente Mencionado (maior que 33,33%)	Moderadamente Mencionado (maior que 16,67% e menor que 33,33%)	Pouco ou não Mencionado (menor ou igual a 16,67%)
--	--	---

Conteúdos mencionados por Entrevistados de São Paulo (São Paulo)	PM %	Subgrupos		Grupos Menores			
		Profs	Docs	G1	G2	GG	GBM
<b>Preponderantemente mencionados como básicos</b>							
92. Meiose	58,3						
344. Engenharia Genética	50,0						
412. Genética Humana (Herança de características humanas)	41,7						
216. Estrutura do DNA	41,7						
179. Interação gênica	41,7						
<b>Moderadamente mencionados como básicos</b>							
189. Herança ligada ao sexo	33,3						
29. História da Genética	33,3						
31. Como os experimentos eram realizados	33,3						
34. História da Genética Clássica	33,3						
389. Implicações da Biotecnologia	33,3						
391. Procedimentos relacionados à aplicação da Genética (como é feito)	33,3						
434. Evolução	33,3						
296. Replicação do DNA	33,3						
66. Cromossomo	33,3						
67. Base cromossômica da herança	33,3						
240. Código genético	33,3						
10. Filosofia da Ciência	33,3						
365. Clonagem	25,0						
62. Localização do material genético	25,0						
56. Noções de célula	25,0						
30. Como as descobertas eram realizadas pelos cientistas	25,0						
49. Watson e Crick	25,0						

Continuação. Tabela 3 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de São Paulo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de São Paulo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

Preponderantemente Mencionado (maior que 33,33%)	Moderadamente Mencionado (maior que 16,67% e menor que 33,33%)	Pouco ou não Mencionado (menor ou igual a 16,67%)
--	--	---

Conteúdos mencionados por Entrevistados de São Paulo (São Paulo)	PM %	Subgrupos		Grupos Menores			
		Profs	Docs	G1	G2	GG	GBM
<b>Moderadamente mencionados como básicos</b>							
97. Relação entre genes e segregação cromossômica na meiose	25,0						
311. Mutação	25,0						
337. Células-tronco	25,0						
229. O que é o material genético	25,0						
46. Relação entre DNA e material genético (enfoque histórico)	25,0						
335. Conexões entre a Genética Molecular e a Genética Clássica	25,0						
15. Como o conhecimento científico é gerado	25,0						
<b>Pouco mencionados como básicos</b>							
202. Probabilidade	16,67						
196. Herança dos grupos sanguíneos	16,67						
107. Reprodução	16,67						
3. Definição de hereditário	16,67						
413. Anomalias genéticas (síndromes e doenças)	16,67						
33. As concepções pré-mendelianas	16,67						
375. Melhoramento genético	16,67						
126. Localização do gene	16,67						
153. Heterozigose	16,67						
157. Homozigose	16,67						
292. Diferenciação celular	16,67						
12. O conhecimento científico não é uma verdade absoluta	16,67						
43. Relação entre núcleo e herança (enfoque histórico)	16,67						
79. Haploidia	16,67						

Conclusão. Tabela 3 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de São Paulo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de São Paulo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

Conteúdos mencionados por Entrevistados de São Paulo (São Paulo)	PM %	Subgrupos		Grupos Menores			
		Profs	Docs	G1	G2	GG	GBM
<b>Pouco mencionados como básicos</b>							
80. Diploidia	16,67						
125. Diversas visões sobre gene	16,67						
234. Relação entre DNA e gene	16,67						
136. Alelos	16,67						
69. Relação entre DNA e cromossomo	16,67						
143. Efeitos do ambiente na expressão das características	16,67						
70. Organização do DNA nos cromossomos	16,67						
99. Recombinação	16,67						
212. Mapeamento dos genes	16,67						

Incluídos a esses conteúdos estão outros também preponderantemente mencionados.

Quanto a *Padrões de herança*, além de *Leis de Mendel*, outro conteúdo preponderantemente mencionado é *Interação gênica*, porém com uma frequência menor (41.1%)

Quando se fala de *Divisão celular*, *Meiose* é o conteúdo incluído mais preponderantemente mencionado.

Em *Genética Molecular*, os conteúdos mais preponderantemente mencionados relacionados são principalmente *Expressão Gênica* (66,7%) e *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* (50%).

Dos conteúdos incluídos em *Aplicações da Genética*, *Engenharia Genética* é o mais preponderantemente mencionado (50%).

Outro conteúdo incluído em *Genética Molecular* preponderantemente mencionado, mas em menor frequência, é *Estrutura do DNA* (41,1%).

Dois conteúdos que também aparecem dentre os preponderantemente mencionados como básicos, porém com uma menor frequência de menções, são *Gene* (58,3%) e *Genética Humana (Herança de características humanas)* (41,7%).

Verificando os dados coletados no contexto de Kalamazoo para validar os dados coletados no Brasil, observou-se que alguns conteúdos são predominantemente considerados básicos nos dois contextos de pesquisa, como se pode ver na Tabela 4 e na Tabela 5. Dentre os mais preponderantemente mencionados, também estão *Padrões de herança* e *Genética Molecular*.

Tabela 4 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de Kalamazoo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de Kalamazoo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular<sup>6</sup>; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

Conteúdos mencionados por Entrevistados de Kalamazoo (Michigan)	PM %	Sub Grupos		Grupos Menores			
		Profs	Docs	G1	G2	GG	GBM
<b>Preponderantemente mencionados como básicos</b>							
213. Genética Molecular	91,7						
146. Padrões de herança	83,3						
250. Expressão gênica (Síntese de Proteína)	66,7						
216. A estrutura do DNA	66,7						
147. Leis de Mendel (herança monogênica e digênica; lei da segregação igual e segregação independente)	58,3						
124. Gene	50,0						

<sup>6</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009. Já o Grupo de entrevistados 2, no mesmo contexto, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho em tal exame. Grupo Genética e Grupo Biologia Molecular corresponde aos grupos de docentes que lecionam disciplinas em cada uma das áreas mencionadas.

Continua.Tabela 4 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de Kalamazoo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de Kalamazoo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

	Preponderantemente Mencionado (maior que 33,33%)		Moderadamente Mencionado (maior que 16,67% e menor que 33,33%)		Pouco ou não Mencionado (menor ou igual a 16,67%)
--	---	--	---	--	--

Conteúdos mencionados por Entrevistados de Kalamazoo (Michigan)	PM %	Sub Grupos		Grupos Menores			
		Profs	Docs	G1	G2	GG	GBM
<b>Preponderantemente mencionados como básicos</b>							
311. Mutação	50,0						
336. Aplicações da Genética / Biotecnologia	50,0						
296. Replicação do DNA	50,0						
85. Divisão celular	41,7						
170. Codominância	41,7						
424. Genética de Populações	41,7						
389. Implicações da Biotecnologia	41,7						
365. Clonagem	41,7						
<b>Moderadamente mencionados como básicos</b>							
412. Genética Humana (Herança de características humanas)	33,3						
234. Relação entre DNA e gene	33,3						
126. Localização do gene	33,3						
413. Anomalias genéticas (síndromes e doenças)	33,3						
318. Consequências da mutação	33,3						
198. Quadrado de Punnett	33,3						
202. Probabilidade	33,3						
179. Interação gênica	33,3						
185. Herança poligênica	33,3						
312. Como as mutações ocorrem	33,3						
326. Mutação pode ser transmitida	33,3						
92. Meiose	33,3						
87. Mitose	33,3						
189. Herança ligada ao sexo	25,0						
129. Os genes estão localizados no cromossomo	25,0						
131. Relação entre gene e cromossomo	25,0						

Continuação. Tabela 4 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de Kalamazoo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de Kalamazoo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; = GBM Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

	Preponderantemente Mencionado (maior que 33,33%)		Moderadamente Mencionado (maior que 16,67% e menor que 33,33%)		Pouco ou não Mencionado (menor ou igual a 16,67%)
--	--	--	--	--	---

Conteúdos mencionados por Entrevistados de Kalamazoo (Michigan)	PM %	Sub Grupos		Grupos Menores			
		Prof s	Docs	G1	G2	GG	GBM
<b>Moderadamente mencionados como básicos</b>							
240. Código genético	25,0						
136. Alelos	25,0						
167. Dominância incompleta	25,0						
272. Proteínas	25,0						
2. Definição de Informação Genética	25,0						
337. Células-tronco	25,0						
344. Engenharia Genética	25,0						
391. Procedimentos relacionados à aplicação da Genética (como é feito)	25,0						
283. Regulação da expressão gênica	25,0						
<b>Pouco mencionados como básicos</b>							
133. Função do gene	16,7						
324. Efeitos da radiação	16,7						
325. Efeitos de agentes mutagênicos químicos	16,7						
29. História da Genética	16,7						
328. O que diferencia um organismo de outro molecularmente	16,7						
362. Escolha das características dos filhos	16,7						
143. Efeitos do ambiente na expressão das características	16,7						
415. Doenças genéticas	16,7						
8. Mutações que ocorrem na formação dos gametas podem passar de geração para geração	16,7						
139. Definição de genótipo	16,7						
140. Definição de fenótipo	16,7						

Conclusão. Tabela 4 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de Kalamazoo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de Kalamazoo; Profs = Professores; Docs = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; = GBM Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

		Preponderantemente Mencionado (maior que 33,33%)	Moderadamente Mencionado (maior que 16,67% e menor que 33,33%)	Pouco ou não Mencionado (menor ou igual a 16,67%)
<b>Pouco mencionados como básicos</b>				
317. Como as mutações se manifestam fora do nível molecular	16,7			
439. Participação de situações que envolvam o uso do vocabulário próprio da Genética	16,7			
107. Reprodução	16,7			
153. Heterozigose	16,7			
157. Homozigose	16,7			
306. Associação entre duplicação e divisão celular	16,7			
184. Genética quantitativa	16,7			
66. Cromossomo	16,7			
69. Relação entre DNA e cromossomo	16,7			
68. Composição do cromossomo	16,7			
400. Clonagem molecular	16,7			
102. Cada metade da informação genética de um organismo vem de cada um de seus pais	16,7			

Tabela 5 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de São Paulo (SP, n=12) e Kalamazoo (MI, n=12); a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação

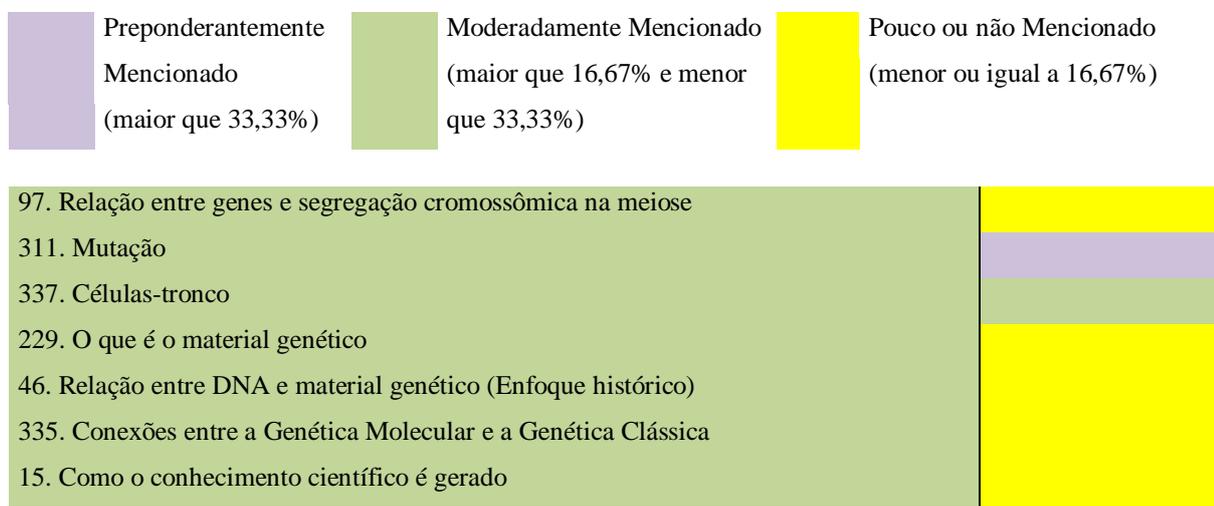
	Preponderantemente Mencionado (maior que 33,33%)	Moderadamente Mencionado (maior que 16,67% e menor que 33,33%)	Pouco ou não Mencionado (menor ou igual a 16,67%)
<b>São Paulo</b>			
<b>Kalamazoo (MI)</b>			
<b>Preponderantemente mencionados</b>			
146. Padrões de herança			
147. Leis de Mendel (herança monogênica e digênica; lei da segregação igual e segregação independente)			
85. Divisão celular			

Continua. Tabela 5 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de São Paulo (SP, n=12) e Kalamazoo (MI, n=12); a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação

Preponderantemente Mencionado (maior que 33,33%)	Moderadamente Mencionado (maior que 16,67% e menor que 33,33%)	Pouco ou não Mencionado (menor ou igual a 16,67%)
--	--	---

São Paulo	Kalamazoo (MI)
<b>Preponderantemente mencionados</b>	
213. Genética Molecular	
215. DNA	
250. Expressão gênica (Síntese de Proteína)	
336. Aplicações da Genética / Biotecnologia	
124. Gene	
92. Meiose	
344. Engenharia Genética	
412. Genética Humana (Herança de características humanas)	
216. Estrutura do DNA	
179. Interação gênica	
<b>Moderadamente mencionados</b>	
189. Herança ligada ao sexo	
29. História da Genética	
31. Como os experimentos eram realizados	
34. História da Genética Clássica	
389. Implicações da Biotecnologia	
391. Procedimentos relacionados à aplicação da Genética (como é feito)	
434. Evolução	
296. Replicação do DNA	
66. Cromossomo	
67. Base cromossômica da herança	
240. Código genético	
10. Filosofia da Ciência	
365. Clonagem	
62. Localização do material genético	
56. Noções de célula	
30. Como as descobertas eram realizadas pelos cientistas	
49. Watson e Crick	

Conclusão. Tabela 5 - Conteúdos mencionados como básicos pelos professores/docentes de São Paulo (SP, n=12) e Kalamazoo (MI, n=12); a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação



Quanto a *Padrões de herança*, o conteúdo incluído mais preponderantemente mencionado como básico é *Leis de Mendel*, mas sua frequência (58,35%) é menor do que no contexto de São Paulo (83,3%). *Codominância* é outro conteúdo incluído em *Padrões de herança*, também preponderantemente mencionado (41,7%).

Ainda sobre os conteúdos incluídos em *Padrões de herança*, o conteúdo *Interação gênica*, que aparece como preponderantemente mencionado pelos entrevistados de São Paulo, aparece como moderadamente mencionado pelos entrevistados de Kalamazoo (33,33), ou seja, com uma frequência ainda menor em comparação àquela encontrada no contexto de São Paulo.

Quanto ao conteúdo *Genética Molecular*, verificou-se que é o mais mencionado pelos entrevistados de Michigan; vários conteúdos incluídos nesse mais abrangente são ainda preponderantemente mencionados: *Expressão gênica* (66,7%), *Estrutura do DNA* (66,7%), *Mutação* (50%), *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* (50%) e *Replicação do DNA* (50%).

Os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos incluídos no conteúdo *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* se diferenciam do caso de São Paulo, mostrando uma diferença na ênfase dada em cada localidade. O conteúdo *Engenharia Genética*, preponderantemente mencionado no contexto de São Paulo, é moderadamente mencionado no caso de Kalamazoo (25%). Entretanto, aparecem outros conteúdos preponderantemente mencionados: *Implicações da Biotecnologia* e *Clonagem* (41,7%), sendo ambos moderadamente mencionados como básicos em São Paulo (respectivamente, 33,3% e 25%).

O conteúdo *Divisão celular*, assim como no contexto de São Paulo, também foi preponderantemente mencionado no contexto de Kalamazoo, mas com uma frequência bem menor (São Paulo = 83,3%; Kalamazoo = 41,7%). Entretanto, os entrevistados da segunda localidade foram menos específicos do que os da primeira e, portanto, *Meiose* (33,3%) aparece dentre os conteúdos moderadamente mencionados, juntamente com *Mitose* (33,3%).

São ainda conteúdos também preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de Kalamazoo *Gene* (50%) e, com uma frequência um pouco menor, *Genética de Populações* (41,7%). Em relação a esses, como anteriormente mencionado, o primeiro também é preponderante nas respostas de São Paulo e o último não aparece na tabela de dados de São Paulo.

#### 2.2.1.2 Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos dentro dos subgrupos professores e docentes

Ao comparar os dados referentes aos professores com os dados relacionados aos docentes de São Paulo, é possível verificar na Tabela 3 a presença de alguns conteúdos que são preponderantemente mencionados como básicos em um grupo, mas pouco mencionados no outro.

Dois conteúdos aparecem como preponderantemente mencionados pelos professores, mas pouco mencionados pelos docentes: *Herança ligada ao sexo e clonagem*.

Outros conteúdos aparecem como preponderantemente mencionados pelos docentes, mas pouco mencionados pelos professores: *Código genético, Replicação do DNA, Cromossomo, Base cromossômica da herança, Filosofia da Ciência e Como o conhecimento é gerado*.

No caso dos dados de Kalamazoo, ao se observar a Tabela 4, verificou-se que a situação se repete com outros conteúdos. Foram preponderantemente mencionados pelos professores, mas pouco mencionado pelos docentes os conteúdos: *Genética Humana (Herança de características humanas), Relação entre DNA e gene, Localização do gene, Anomalias genéticas (síndromes e doenças), Consequências da mutação, Quadrado de Punnett e Probabilidade*.

Outros conteúdos aparecem como preponderantemente mencionados pelos docentes, mas pouco mencionados pelos professores; são eles *Engenharia Genética*, *Procedimentos relacionados à aplicação da Genética (como é feito)* e *Regulação da expressão gênica*.

Ao verificar se tais menções estavam concentradas em apenas um dos grupos menores (grupos 1 e 2 de cada localidade), verificou-se, no caso de São Paulo, que isso ocorria apenas quanto ao conteúdo *Código Genético*, o qual foi mencionado por todos os entrevistados do grupo de docentes que lecionam Biologia Molecular, mas não apresentou menções por aqueles que lecionam Genética.

No caso de Kalamazoo, dentro do grupo de professores, verificou-se a concentração de alguns conteúdos no Grupo 1, sendo mencionados por todos os entrevistados desse grupo, mas não mencionados pelos professores do Grupo 2, tais como: *Genética Humana (herança de características humanas)*, *Relação entre DNA e gene*, *Localização do gene* e *Anomalias genéticas (síndromes e doenças)*.

Ainda no contexto de Kalamazoo, o conteúdo *Regulação da expressão gênica* não foi mencionado pelo grupo de docentes que ensinam Genética, mas foi mencionado por todos os docentes do grupo que leciona Biologia Molecular.

### **2.2.2 Justificativas sobre cada um dos conteúdos mais preponderantemente mencionados**

Esta segunda parte da análise procurou verificar por que os entrevistados consideraram os conteúdos mencionados como básicos e as ressalvas envolvidas nessas menções. Consideraram-se também as menções negativas para tais conteúdos.

Para tanto, centrou-se nas justificativas e memorandos analíticos de todos os entrevistados (São Paulo e Kalamazoo) referentes aos quatro conteúdos *mais* preponderantemente mencionados como básicos, em especial pelos entrevistados de São Paulo: 1) *Padrões de herança e Leis de Mendel* (analisados conjuntamente); 2) *Genética Molecular*; 3) *Divisão celular*, os quais são também conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de Kalamazoo, como foi possível verificar na seção anterior. Conforme mencionado na descrição da metodologia (seção 2.1.5.9.2, página

92), não foram apenas consideradas as justificativas do conteúdo em si, mas também aquelas referentes aos seus conteúdos incluídos. Porém, no caso de *Genética Molecular*, limitou-se a não considerar as justificativas destinadas aos conteúdos incluídos referentes à *Biotecnologia*, já que estes foram analisados em particular na próxima seção (2.2.3, página 140).

Para facilitar a apresentação dos dados, serão exibidas tabelas que sintetizam as justificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar tais conteúdos como básicos para serem ensinados. Algumas citações mais ilustrativas dessas justificativas serão aqui mencionadas, enquanto as demais podem ser encontradas a partir dos APÊNDICE I e APÊNDICE F.

#### 2.2.2.1 Padrões de Herança

A Tabela 6 apresenta uma síntese das justificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar os conteúdos *Padrões de Herança e, especificamente, Leis de Mendel* como básicos para serem ensinados.

Pode-se notar que 14 entrevistados (58% da amostra) apresentaram justificativas para considerar esses conteúdos como básicos, relacionadas à sua *importância para o cotidiano*. Dentre eles, estão principalmente todos os professores de São Paulo, todos professores do Grupo 1<sup>7</sup> de Kalamazoo e os docentes de São Paulo. Entretanto, o modo como a importância do cotidiano aparece nas respostas dos entrevistados varia.

Desses 14 entrevistados, sete deles, sendo em sua maioria professores do Grupo 1<sup>8</sup>, tanto de São Paulo quanto de Kalamazoo, consideram importante ensinar tais conteúdos para

---

<sup>7</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

<sup>8</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

que os alunos possam compreender *como as características se manifestam* e mais especificamente *a herança de suas próprias características*.

Tabela 6 – Justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar os conteúdos *Padrões de Herança* e, especificamente, *Leis de Mendel* como básicos para serem ensinados a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para <i>Padrões de Herança</i> e <i>Leis de Mendel</i>							ENT
importância para o cotidiano	lidar com as informações recebidas no cotidiano	lidar com temas relacionados à Biotecnologia	desenvolver um raciocínio específico				DB3*
							PB6*
							DB2
		DB5*					
		DB6					
		DE5					
		PB5*					
	compreender como as características se manifestam	compreender a herança de suas próprias características	compreender assuntos relacionados à própria saúde e à saúde de seus filhos	compreender as anomalias herdadas	compreender o que os médicos dizem	PE1*	
						PE3*	
			PB4*				
			PE6				
			PB1				
			PB3				
			DE5				
			compreender como o conhecimento científico se constrói				
compreender a história da Genética					DB3*		
compreender a história da Genética					PB4		
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento					DB1*		
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento					DB6		
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento					DE4		
compreender a base cromossômica da herança					DB4		
obrigatoriedade do ensino dos conteúdos	importância de se ensinar os conteúdos do(a) (proposta) currículo(ar) estadual		Preparar alunos para testes			PB4*	
						PE1*	

PE6, por exemplo, ao dizer que julga básico o ensino das leis mendelianas, afirma considerar importante os alunos compreenderem por que possuem determinada aparência ou determinado comportamento, por que eles se parecem como seus pais e não com outros organismos:

00:09:10) PE6: It's important because it helps them grasp the concept of why they look the way they look, why they behave the way they behave; "Why do you look like your mother?"; Why do you look like your father?"; "Why don't you look like another organism?". Ok? When your appearance came together you did not come up looking like a plant and there's a reason for that. And so teaching them that the laws of Genetics, that when two organisms come together they can only produce their kind, they don't produce something other than. So I think that's really an important piece that needs to be taught to high school students (PE6).

PB4, ao apontar dentro dos conteúdos que considera básicos o ensino das leis mendelianas, apresenta uma justificativa geral para os conteúdos mencionados. Esta, além de também estar conectada à importância de o aluno entender a herança de suas características, refere-se também à relevância do conteúdo para o aluno compreender aspectos relacionados à própria saúde, *compreendendo as doenças herdadas*, opinião também expressa por outros dois professores de ambos contextos:

(00:09:24) E: Por que o senhor considera que esses conhecimentos são básicos para a formação dele enquanto cidadão? Qual a justificativa que o senhor daria para a escolha desses conteúdos.

(00:09:36) PB4: Para eles saberem a existência da Genética, que ele pode saber o tipo de sangue dele, as compatibilidades, ter uma noção sobre doenças que ocorrem. Então, por exemplo, saber o que é a doença, saber o que é uma síndrome causada pela genética. Então, ele vai ter um conhecimento básico, né? Não vai ser científico igual a gente saiu da faculdade.

(00:10:02) E: Para ele ter um conhecimento básico na área sobre...

(00:10:06) PB4: Ah, sobre a saúde dele em si, né? As características de um filho. Entendeu? Isso aí realmente é um cidadão crítico. Ele sabe o que está acontecendo.

Para PE1, também é importante os alunos *compreenderem o que os médicos dizem* em suas consultas, o que significa quando mencionam que o paciente possui um algum histórico familiar.

(00:02:45) I said that that's the most important stuff that what is important for them to understand how genes get passed to one organism to another. (00:03:19) (...) They need to know it because they're living it, they're going to have children on their around, they see what goes on around them. So it's important that they have an understanding of what is happening so, you know, if they have experienced a genetic disorder or know somebody who has experienced a genetic disorder they have basic understanding of what they're talking about. You know, where did they come from. They go to the doctor and the doctor tells them "when do you have a family history of..." they'll understand why that's important. So, you know, it is part of their everyday life even though they might not know (00:04:00) that yet (PE1).

Ao total, nove entrevistados, a maioria docentes de São Paulo e professores do Grupo 2<sup>o</sup> dessa mesma localidade, acreditam ser importante ensinar tais conteúdos para o aluno ser capaz de *lidar com as informações recebidas no cotidiano*.

A docente DB2, por exemplo, diz que as Leis de Mendel são básicas para os alunos compreenderem o que ouvem, como os assuntos ligados à Biotecnologia, tais como as consequências da produção de organismos transgênicos, ou seja, como o organismo transgênico pode transmitir o novo fator recebido:

(00:08:14) (...) Então, quando eu digo, vamos voltar ao exemplo dos transgênicos, eu vou dar uma tecnologia nova que é a da construção do transgênico, propriamente dito, agora eu tenho que entender o que é essa construção, como é que eu faço essa construção, como é que eu pego um gene de um local e passo para o outro. (00:09:28) E, depois, eu tenho que entender as consequências disto. Para eu entender as consequências disto, por exemplo, eu transmiti um fator de resistência para uma determinada planta, essa planta vai se dividir, vai se reproduzir na natureza, então ela vai então ser portadora desse novo fator que ela recebeu e precisa entender como isso pode ocorrer, para isso ele precisa saber as leis de Mendel (...) (00:10:01) (...) Você me perguntou o básico, tá. Aí o básico tem limites. Eu acho assim, o básico para Ensino Médio é isso é ele entender a localização, o funcionamento e a segregação do material hereditário. Tá? Se ele entender isso ele já tem condições de ouvir algo novo e de tentar fazer alguma correlação a mais na cabeça (DB2).

Assim como DB2, outros três entrevistados, todos docentes, principalmente de São Paulo, também apresentam sua justificativa para o ensino de Padrões de Herança, e especificamente Leis de Mendel, mencionando a importância de tais conteúdos básicos para os alunos serem capazes de *compreender temas relacionados à Biotecnologia*.

Para DB3, devido à grande expansão da Genética, já não é possível se falar na escola de todas as informações sobre essa área de conhecimento veiculadas pelos meios de comunicação. Desse modo, considera que, ao compreender conteúdos básicos, como as leis mendelianas, os alunos seriam capazes de compreender outros assuntos com os quais se deparam:

(00:04:45) (...) com esse conteúdo básico ((o qual inclui as leis de Mendel)) ele ((o aluno)) seria capaz de entender essas várias informações genéticas de mídias

---

<sup>9</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 2, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do ENEM (2007).

diversas e interpretar... porque já era impossível você falar sobre todas as informações genéticas neste momento. (...) (DB3).

Já para professores de São Paulo pertencentes ao Grupo 2<sup>10</sup>, PB2 e PB5, o *desenvolvimento de um raciocínio específico* é uma justificativa apontada. Portanto, para esses professores, a partir do desenvolvimento dessa forma de pensar, o aluno seria capaz de lidar com as informações recebidas.

Para PB2, o fato de o aluno aprender a produzir modelos explicativos a partir de dados relacionados a padrões de herança auxilia na estruturação de uma forma de pensar compatível com o pensamento da Ciência, e essa sim será útil para sua vida, podendo, por exemplo, ser utilizada para o indivíduo se defender das informações científicas que lhe são acessíveis:

(00:23:11) (...) Então, como objetivo principal é que o aluno aprenda no curso de Genética a produzir modelos explicativos a partir de dados no caso de genética sobre herança. Para que serve isso? Para nada. Só para ele estruturar uma forma de pensamento que é compatível com o pensamento da Ciência e que é útil para a vida dele, até para ele se defender do uso da informação científica. (...) (PB2).

Como poderá ser melhor compreendido na seção 2.2.3, página 145, para esse professor, ensinar padrões de herança serve indiretamente para os alunos saberem lidar com argumentos científicos ou não científicos, o que julga relevante para o cidadão. Esse entrevistado, como poderá ser visto com mais clareza a seguir<sup>11</sup>, diz não acreditar em um curso de Biologia utilitário, o que parece significar, em suas palavras, o mesmo que imprescindível. Mas, para ele, o ensino de Genética serve para desenvolver habilidades cognitivas em seus alunos, como trabalhar com modelos abstratos, com dados matemáticos e estruturar o pensamento dos alunos.

Já segundo PB5, hoje em dia a informação está muito acessível e justifica o ensino de todos os conteúdos que considera como básicos, dentre eles os conhecimentos clássicos de Genética, como a herança particulada, dizendo que a importância deles está em favorecer um raciocínio no aluno:

---

<sup>10</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 2, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do ENEM (2007).

<sup>11</sup> Seção 2.2.2.3 (página 110).

00:24:38) E: (...) Por que você considera todos esses conteúdos que você colocou como básicos? Por que você escolheu falando assim: Meu aluno não pode sair daqui sem saber ele? Por quê?

(00:24:55) PB5: Porque eu acho que esses conteúdos me ajudam a desenvolver um raciocínio, uma sequência de raciocínio. Na verdade, foi o que eu falei. Conteúdo hoje é algo que você não tem mais dificuldade em obter, você quer saber? Você quer conseguir um conteúdo, uma informação, você na verdade não precisa estar na escola para conseguir. Você consegue em qualquer lugar. Então, na verdade para mim o papel da escola desde o início sempre foi desenvolver a habilidade em raciocinar. (...)

Na seção 2.2.3, página 145, serão apresentadas citações nas quais se identificaram indícios para a compreensão do que seria esse “raciocínio”, podendo-se interpretar que ele estaria relacionado não somente com a recepção de informações, mas também com desenvolver a capacidade de refletir sobre elas e questioná-las.

Dentre os entrevistados de São Paulo, há dois docentes brasileiros que consideram os conhecimentos elencados como básicos, dentre eles os padrões de herança e as leis mendelianas, como importantes para o aluno *compreender como o conhecimento científico se constrói*.

DB5, por exemplo, após enfatizar muito em sua entrevista a importância de ensinar os conteúdos, entre eles as Leis de Mendel, utilizando um contexto histórico, afirma que tais conhecimentos ajudam o aluno a compreender que o conhecimento não “cai do céu”:

(00:46:07) (...) como que o senhor justificaria a escolha desses conteúdos?

(00:46:20) DB5: Uma frasezinha bem curtinha: O conhecimento se constrói. Você não soca o conhecimento... o conhecimento não cai do céu (DB5).

Algo semelhante aparece na justificativa apresentada por DB3, que considera os conteúdos mencionados como básicos importantes para o aluno compreender como a Ciência é gerada:

(...) Então, é através dos conceitos básicos de Genética, a gente tenta transmitir o que é fazer Ciência, o que é ter uma pergunta e tentar respondê-la. Então, para nós isso era a essência, é a essência, né? Pela metodologia científica, no caso na área de Genética. Então, para isso a gente tem que dar conceitos bem sólidos, básicos, que consideramos básicos (...). (DB3)

Já PB4 apresenta uma justificativa relacionada à importância do conteúdo para a *compreensão da história da Genética*: “(00:05:30) (...) No início a gente sempre fala quem foi

Mendel, como é que foi a pesquisa e tal, porque isso é interessante o aluno conhecer por que que iniciou a história da Genética. (...)” (PB4).

Três docentes, de ambos os contextos, justificam o ensino de tais tópicos baseando-se na *importância do conteúdo dentro da área de conhecimento*.

DB6, primeiramente, menciona que, no Ensino Médio, devem ser ensinados conhecimentos gerais na Biologia. “(00:00:45) Na minha opinião o Ensino Médio devia enfatizar o que da Biologia é de conhecimento geral e acaba passando por todas as áreas da Biologia, ou seja, aquilo que se aplica desde as plantas, aos organismos superiores aquilo que eu considero mais abrangente” (DB6). Posteriormente, cita os conteúdos que julga se inserirem nessa categoria. Dentre eles, aponta as leis mendelianas: “(00:00:45) Da Genética acho que a Genética Clássica, mendelismo, a primeira lei, segunda lei de Mendel são fundamentais (...)” (DB6).

O docente DB1 também mencionou o ensino de padrões de herança, pois são conhecimentos provindos da Genética Clássica que até hoje têm capacidade de explicar os fenômenos, estando incluídos até mesmo nos mais complexos: “(00:13:17) Eu acho esses importantes, porque são conceitos que vêm da Genética Clássica e que até hoje são muito bem estabelecidos nos fenômenos que se estuda, mais complexos, mas que no fundo estão embutidos ali”. (DB1)

Já DE4 justifica o ensino das leis mendelianas com a afirmação de que estas estão dentre os processos fundamentais da vida:

(00:19:04) (...) But, you know, Genetics is the transmission of information as we understand in the architecture of the DNA molecule, is the fundamental life process. So even when we are not going to be in anyway educated about Biology I think he needs to understand fundamentals of Genetics as we understand DNA replication, (00:21:06) transcription, translation and then how the “genetic trail” is parceled out from parent to offspring, and the basic Mendelian Genetics (DE4).

DB4, por sua vez, justifica que é importante a compreensão dos *Padrões de herança* para a *compreensão de um outro conteúdo*, a saber, a compreensão da *base cromossômica da herança*: “(00:10:40) (...) A base cromossômica da herança ela só pode ser estudada depois que você conhece os padrões de herança. Você tem que passar daí para os padrões mendelianos mas isso tem que seguir adiante, né? (...)” (DB4).

Há também dois professores do Grupo 1<sup>12</sup> (cada qual de um dos contextos) que apresentam justificativas relacionadas à *obligatoriedade do ensino dos conteúdos*.

Para PB4, é importante ensinar todos os conteúdos da proposta curricular do Estado de São Paulo. Justifica que todos devem ser ensinados pois, segundo ele, assim diz a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB):

(00:00:17) Eu acho que todo o conteúdo de Genética que tem na proposta ela é importante. Por quê? Porque a LDB ela está embasada no... tem uma parte da LDB que está embasada no conhecimento científico. Então, está na lei que o aluno tem que aprender o conteúdo todo (...) (PB4).

PE1 também diz que julga importante seguir as expectativas do estado e preparar seus alunos para os testes:

(00:00:16) E: You gave me some contents here that you think that are important, and I would like to know why do you think that it's essential to students in High School know this content.

(00:00:48) PE1: Well the first point is that we have to give a standardized test that all students have to take and so this is for one one thing state tells us what's important and that part has been taken (not apart hence). (...)

Ainda foi possível perceber que PE3, juntamente com os dois professores acima (todos professores do Grupo 1, apesar de localidades diferentes), também retirou os tópicos elencados como básicos das expectativas listadas no currículo. Desse modo, tais entrevistados demonstram que o currículo ou a proposta curricular estadual influenciaram a escolha dos conteúdos por eles escolhidos.

---

<sup>12</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 2, no mesmo contexto, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho em tal exame. Já o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009. O Grupo de entrevistados 2, no mesmo contexto, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho em tal exame.

Em suma, pode-se destacar que justificativas referentes à importância dos conteúdos *Padrões de herança* e *Leis de Mendel* para o cotidiano dos alunos ocorreram nos dois contextos. Foi mais frequente dentre os professores do Grupo 1, tanto de São Paulo como de Kalamazoo, a preocupação com que os alunos compreendam suas próprias características. Já no Grupo 2 dos professores de São Paulo, apareceram justificativas relacionadas à relevância de tais tópicos para desenvolver o raciocínio lógico dos alunos. Justificativas relacionadas com a importância de os alunos compreenderem as informações recebidas no seu cotidiano estão mais presentes entre os entrevistados brasileiros. Outras justificativas, mencionadas por poucos entrevistados, incidiram especificamente em certos grupos particulares: a importância para a compreensão de como o conhecimento científico é construído – nos docentes de São Paulo –, a importância do conteúdo dentro da área de conhecimento – nos docentes de ambos contextos –, e a obrigatoriedade do ensino dos conteúdos – nos professores do Grupo 1.

Entretanto, nem todos os entrevistados julgam que as leis mendelianas estão entre os conteúdos básicos a serem ensinados. Para DE6, é difícil encontrar exemplos que podem ser explicados apenas com as leis de Mendel. Muitas características humanas não podem ser explicadas simplesmente por elas. Para compreendê-las, considera melhor ensinar processos básicos da Genética Molecular do que compreender aspectos da genética de plantas de ervilha e fazer os alunos trabalharem sobre vários de cruzamentos utilizando o quadrado de Punnett. Isso não significa que, para o entrevistado, as leis mendelianas sejam inúteis. Para ele, a Genética Moderna inclui as leis mendelianas, sendo uma ferramenta útil para os geneticistas e para a compreensão da variação. Entretanto, para um cidadão comum, considera um conhecimento demasiado e que transmite uma visão determinista da relação genótipo/fenótipo:

(00:39:58) But the bigger point I think, I think Mendel is misleading because if you're looking for Mendelian inheritance for traits, you don't really see it enough and it tends to reinforce a deterministic view of the genotype and phenotype relationship because when it's Mendelian it is deterministic. Well most of the things that matters to us as individual humans, it doesn't work that way. (00:40:57) (...) DNA, RNA, protein, you know, if they simply have that basic understanding and I'm not (advocating) teaching (in core detail), but just what's a gene for? A typical gene is there to encode information for making the protein, how do genes work? They work through proteins. And if they come away with that, I think that's more important than knowing well whenever a pea plant is gonna have sex, whenever a flower... you know... (00:42:01) segregate, a law of segregation, I mean, that's simple, but working them through a million Punnett squares if they actually don't bring it up to, also, I think in a way it's more important to get the simple points of Molecular Biology cross, because modern Genetics isn't Mendel, I mean, it includes

Mendel and obviously you have to use the kind of tools that Mendel started developing to be a geneticist and analyze things you need to rely on variations, study the inheritance and how that affects the phenotype but the Mendelian situation is for an ordinary citizen, I think, I think it's probably over the size. I really do (DE6).

É ainda preciso considerar que, mesmo dentre aqueles entrevistados defensores do ensino dos padrões de herança e das leis mendelianas, há algumas ressalvas.

A docente entrevistada de São Paulo DB6, apesar de considerar básico ensinar as leis mendelianas, considera não ser possível apenas se manter no ensino delas, pois elas sozinhas não explicam, por exemplo, a herança das características humanas. Para ela, é essencial os alunos compreenderem a herança poligênica, multifatorial e o efeito do ambiente para compreenderem as causas de doenças como diabetes, a hipertensão e a doença de Alzheimer, e terem fundamentos para opinar sobre, por exemplo, o que leem:

(00:08:15) (...) Então, eu acho que precisa, eu vejo os professores e dá a impressão que eles abandonam herança poligênica no fim do curso porque é difícil, então dá a primeira lei, segunda lei, mapeamento, e deixa a poligênica que é chato para o fim. Mas de fato a herança poligênica e multifatorial é o que explica a maior parte dos fenômenos que a gente está vendo. Então, os problemas de saúde pública mais importantes, diabetes, hipertensão, que os alunos veem em casa não se encaixam na herança mendeliana e os professores não ensinam o poligênico e o multifatorial. (...)

00:10:21) E: Então, na sua opinião também seria importante ensinar a herança multifatorial para eles no Ensino Médio?

(00:10:22) DB6: É. E o efeito do ambiente.

(...)

(00:27:44) DB6: (...) Então, um aluno do Ensino Médio que o professor explicou que a obesidade, a hipertensão e a doença de Alzheimer são doenças multifatoriais e como elas são determinadas ele vai ler o artigo do doutor Beltrano, ele vai se posicionar, entendeu? (...) E aí não vai ser só um achismo. “Eu achei que a coluna do doutor Fulano está mais bem escrita”, entendeu? E cadê Ciência que está atrás disso?

Além disso, ela acha que é preciso ter cuidado para não tratar características humanas como monogênicas, se elas assim não são:

(00:06:14) Então, o que que acontece? Então, vem os exemplos de Genética Humana e aí começam as inadequações. Primeiro, as primeiras que me incomodam, tratar como monogênicas características que são poligênicas ou multifatoriais. Por exemplo, tratar a cor do olho como monogênica tratar a cor da pele como característica monogênica, tratar se o cabelo é liso ou crespo com regra simples que qualquer aluno de bom senso que chegar em casa vai ver que não funciona. Então, por que que se insiste em problemas, ainda que sejam uma simulação, seja um pressuposto, a repetição desses exemplos? ... depois o aluno chega aqui na faculdade achando que olho claro é recessivo, olho escuro é dominante, e que é sistema monogênico (aquela coisa), ou seja, a pessoa de olho claro que casa com alguém de olho claro nunca vai ter filho de olho escuro, o que é uma grande mentira, é só você sair por aí que você vai achar exemplos desse tipo. (00:07:17) Então, a escolha do

exemplo é infeliz. Então, eu acho que os professores tinham que ser rigorosos em ter exemplos reais pra não difundir pela população alguns mitos de que cor de olho, que cabelo liso, cabelo crespo, cor da pele, seja lá o quê, sejam tratados como simplificações de herança monogênica. Isso já causa uma distorção horrorosa (DB6).

Para PB5, também não é possível ficar enfatizando a utilização do quadrado de Punnett, as proporções; é preciso encontrar alternativas para não passar uma visão determinista para os alunos, ainda mais em uma época onde há inclusive a comercialização de *kits* para cada pessoa ter conhecimento de seu genoma parcial:

(00:10:24) (...) A gente está ainda tateando, ainda está vendo até que ponto a gente consegue abandonar aquela Genética muito... sabe... quadrado de Punnett, proporção 1 para 2 para 1, 1 para 3, aquela coisa bem amarrada que está nos livros didáticos, e muito determinística, que é pá pá pá pá pum, para uma abordagem um pouco mais assim crítica em relação à Genética, entendeu? “Ah professora, então eu tenho gene e eu vou ser assim”. Eu falo: “Olha gente, como assim, eu tenho um gene e vou ser assim?” Então, por exemplo, essa questão toda do *23andme*, da venda de genomas parciais, agora U\$399,00, aí existe uma discussão... até que ponto vale, até que ponto não vale, até que ponto é importante, até que ponto não é importante. Então, assim, a gente está no momento de reestruturar, eu acho. Não está fácil não, mas é como eu te falei, talvez a gente aqui fique um ponto fora da curva, entendeu o que eu estou querendo dizer? Pela formação dos professores, que aí consegue ter uma noção maior. (00:11:49) Eu não sei, assim, os professores que não têm a formação na área mais de Genética, mais digamos... molecular e tal, se conseguem alcançar as dúvidas até (PB5).

Como se pode verificar, PB5 ainda receia que outros professores não estejam preparados para esse ensino menos determinista, por não possuírem a mesma formação que ela teve ao se doutorar na área de Genética Molecular. Receia que isso dificultaria a eles responder às dúvidas dos alunos.

DB6 também acredita que os professores não estão preparados para explicar como funcionam características poligênicas e multifatoriais, o que se torna um agravante quando os alunos tentam aplicar os padrões mendelianos às características humanas. Por um lado, em sua opinião, isso pode levar os alunos a tirar conclusões inadequadas, inclusive sobre questões relacionadas a problemas graves de saúde pública. Por outro lado, pode gerar um desconforto para os professores, pois estes serão questionados quando os alunos perceberem as falhas desse modelo explicativo:

(00:07:17) (...) A outra que eu acho que o professor de Ensino Médio não está muito preparado para lidar é que é assim, a partir do momento que você dê exemplos de doenças com mecanismos monogênicos claros, olha essa doença é recessiva ligada a

X, essa é dominante, ainda que os exemplos estejam corretos, os alunos automaticamente vão transpor para doenças que eles estão acostumados mais a ver nas pessoas que são de fato os grandes problemas de saúde pública, diabetes, pressão alta, o câncer e etc. (00:08:15). Então, eles vão começar a olhar o câncer da vovó, o diabetes da vovó, a pressão alta do papai e eles vão tentar aplicar os mecanismos mendelianos monogênicos para explicar isso e também vão ver... vão tirar conclusões erradas e vão ver que também não vai funcionar bem e vão perguntar isso pro professor. Eu não sei se o professor está preparado para lidar com essa pergunta. Eu não sei o que o professor responde nessa hora porque muitos deles não estudaram herança poligênica ou multifatorial (DB6).

Para DE1, como nem todas as características são determinadas por um único gene, é importante os alunos ao menos compreenderem que muitas características são controladas por vários genes e são decorrentes da interação entre eles:

(00:02:09) (...) I would consider Quantitative Genetics to be not very important in terms of its depth. I would not say that it is not an important subject but more that the students should have at least a conceptual understanding that many traits in a population are controlled by many different genes and that it is the way that these genes interact to for the trait to appear. (00:03:22) Some traits, that is true, some traits, it is, you know, more straightforward that only one gene can control the whole trait, a lot of traits that is not true (DE1).

Outra ressalva apresentada estava relacionada ao ensino das leis mendelianas desvinculado de uma abordagem histórica.

Seis entrevistados<sup>13</sup>, em sua maioria entrevistados pertencentes ao contexto de São Paulo, ou professores dos dois contextos, julgam importante abordar aspectos relacionados à História da Genética. Entretanto, para PB5, os aspectos clássicos são fundamentais, mas se forem abordados num contexto histórico:

(00:03:06) Então, mais do que exatamente a decoreba da Genética, porque a Genética sempre foi uma decoreba associada muito à questão da Matemática, trabalhar a Genética Clássica em cima da questão histórica. Então, os conceitos clássicos para mim são fundamentais, mas num contexto histórico, não como a Genética é isso (PB5).

Já para PB2, uma abordagem filosófica e histórica da História da Ciência não é suficiente. Baseando-se em sua própria experiência, após um trabalho de ensino de Genética apoiado na utilização da história e da Filosofia da Ciência, concluiu que seus alunos ainda tinham dificuldades de compreender como o conhecimento científico era elaborado. Para ele,

---

<sup>13</sup> PB4, PB5, DB1 DB5, PE6 e PE2 (ver conteúdo 29, APÊNDICE F)

não é possível apenas relatar como esses conhecimentos foram construídos. Para a compreensão realmente ocorrer, é necessário que o aluno vivencie isso.

(00:28:47) Eu não posso também ficar só num blabablá filosófico sobre Ciência porque tem gente que coloca a Filosofia da Ciência como conteúdo (...) Eu já tentei fazer isso e fui bem pouco bem sucedido. (...) E aí eu vi que os alunos continuavam mostrando na prova ideias de que descobriram o DNA, de que descobriram as leis de Mendel. E aí eu resolvi me desapegar, falar: “Não, não dá para falar sobre isso, eu tenho que vivenciar isso”. Então, hoje, eu falo assim com eles: “Mas, espera aí. Quem está vendo isso que o Mendel está falando? Dá para enxergar o ‘azão’ e o ‘azinho?’” “Não”. (00:29:53) “Então, o que é isso que ele está vendo?” “Ah, é uma ideia dele”. “Mas uma ideia que funciona, será que não existe?” “Não. Não existe. Foi existir somente muito tempo depois”. (...) (00:30:55) Eles têm quinze, quando eles acabarem a faculdade, talvez eles consigam projetar essa ideia bem. Por hora é difícil, e eu decidi que eu não falo mais sobre isso. Eu falo durante as aulas, eu demonstro isso, mas não sistematizo, porque não é porque ele teve uma boa aula sobre Filosofia da Ciência que ele vai aprender a ler Ciência de uma boa maneira (...) (PB2).

Outro conjunto de ressalvas, apresentado por cinco entrevistados, está relacionado com a ênfase nos exercícios e problemas relacionados às leis de Mendel.

Como anteriormente mencionado (página 118), PB5, por exemplo, critica o ensino da Genética Clássica com o uso da “decoreba associada muito à questão da Matemática”, considerando uma melhor opção uma abordagem histórica. No trecho abaixo, complementa expressando sua discordância em relação à ênfase nos exercícios matemáticos para a fixação de conceitos:

(00:03:06) Eu adoro Genética Clássica, acho que é fundamental para os alunos saberem. Então, os conceitos de Genética Clássica, por exemplo, que eu sempre briguei muito, porque sempre foram me apresentados de uma forma muito dura e estanque..., por exemplo, o trabalho de Mendel, para mim, na época que eu aprendi eu achava tudo aquilo muito chato, mas na hora de eu apresentar o tema eu tento apresentar de uma forma diferente. Então, mais do que exatamente a decoreba da Genética, porque a Genética sempre foi uma decoreba associada muito à questão da Matemática, trabalhar a Genética Clássica em cima da questão histórica. (...) (PB5).

(00:31:56) (...) Então, mostrar por exemplo aqueles conceitos de epistasia, não sei o que, aquela decore/ porque aquilo é uma decoreba! Para mim sempre foi. Isso para mim não é fixação de conceito de Genética nenhuma. Assim como não é ficar fazendo o cara preparar quinhentos mil exercícios de Matemática para dizer se... entendeu? Para mim isso não é fixar o conceito clássico de Genética, não é! (PB5).

DB4 considera necessário ensinar os padrões de herança, mas sem os alunos passarem a maior parte do tempo fazendo heredogramas e problemas. Para ela, é mais importante primeiramente os alunos compreenderem aspectos citológicos da divisão celular e Genética

Molecular, associando a Genética com o seu cotidiano, por exemplo, com os medicamentos, com os tratamentos de doenças:

DB4: (00:04:41) (...) Quando a gente pega o livro didático de Biologia ou sabe da realidade do ensino de Genética que o professor passa dois três bimestres só fazendo probleminhas com as leis de Mendel, por mais importante que elas sejam, não estou dizendo que a gente vai eliminar as leis de Mendel do currículo, mas como a gente sabe que eles passam dois, três meses ensinando estatística e fazendo probleminhas com as leis de Mendel, a gente sabe que isso não vai muito longe, nem desperta nesse estudante a vontade de ser pesquisador, de fazer um curso de Biologia quando ele sair do Ensino Médio. Então, está errado em vários sentidos, o que falta nesse programa? Falta trazer os conteúdos da Genética que dizem respeito à vida cotidiana que estão aí. (06:20:00) Então, em vez de falar, de mendelismo, codominância, ficar fazendo probleminhas por dois, três bimestres, eu entendo que, primeiro, tem que se dar um foco maior em Citogenética e Genética Molecular, no sentido de conectar aqueles conteúdos da Citologia que em geral ele aprende lá no primeiro colegial, muitas escolas trabalham com Ecologia, tem Citologia no primeiro ano e vão trabalhar com Genética no terceiro.

(...)

DB4: (00:09:14) Ou seja, eu acho que a grade curricular tem sim que estar centrada nessa questão da aplicação e com a conexão direta com a vida diária que implica em alimento, medicação e tratamento de doença e naturalmente tudo isso precedido de uma base que aproxime, que retome, que religue, conteúdos de divisão celular aprofundando para Genética Molecular. E aí sim, trabalhar obviamente, digamos, os itens de sempre, como padrões de herança, base cromossômica de herança, mapeamento, recombinação, mas que isso especialmente não se transforme nessa coisa de ficar fazendo probleminha e heredograma, né? Parece que aprender Genética é aprender fazer bolinhas ligadas a quadradinhos, colocar isso em mapa e fazer contas, né? E usar a estatística.

DB5 igualmente discorda da ênfase dada à resolução de problemas, considerando que a prioridade deve ser em mostrar como os conhecimentos são construídos<sup>14</sup>: “(00:18:00) (...) Mas eu acho que construção de conhecimento deveria vir à frente dos exercícios que são uma consequência disso, desses conhecimentos que você gera” (DB5).

DB6 também critica a apresentação das leis mendelianas por meio da resolução de problemas, os quais acredita serem ensinados de forma bitolada, com o emprego de frases prontas sobre os padrões de herança:

(00:00:45) (...) Da Genética acho que a Genética Clássica, mendelismo, a primeira lei, segunda lei de Mendel são fundamentais, mas tenho minhas críticas sobre a maneira com que elas são apresentadas e como elas são absorvidas que ainda me dão a sensação de muita bitola na resolução do problema, de frases feitas do tipo pais

---

<sup>14</sup> Conforme explicado na página 80, esse docente está se referindo à construção do conhecimento científico, enfatizando a importância de se ensinar os conteúdos de Genética a partir do contexto histórico.

normais, pais diferentes, filhos normais, como é que é? Pais normais filhos afetados, herança recessiva, alguns vêm com frases feitas e às vezes a minha impressão é de que apesar de ser ensinado não é ensinado de uma forma muito crítica e os alunos trazem muita bitola e muita frase feita sobre padrões de herança. (...) (DB6).

DE5, ao falar sobre o ensino de Biotecnologia, afirma que a resolução de problemas e múltiplos quadrados de Punnett têm menor importância:

00:14:32 And so those are things that can be discussed in the basic, basic Science can be taught at a high school level, that students are sophisticated enough to handle it. Those types of things I find more important than having them doing the genetics problems and multiple Punnett square and tall pea plants crossed by short pea plants what do we get? That's a good introduction but now let's help them take that and use it with a real world application... (DE5).

Nota-se que as considerações contrárias à ênfase de problemas e exercícios para o ensino das leis mendelianas são em sua maioria expressas por docentes de São Paulo que pertencem ao grupo daqueles que lecionam Biologia Molecular (DB4, DB5 e DB6).

Por outro lado, outros entrevistados, ao mencionarem os conteúdos que consideram básicos, expressam que consideram importante trabalhar com problemas, cálculos de porcentagens e utilizar o quadrado de Punnett. Dentre eles, estão PB1 e PB2.

Entretanto, PB1, apesar de acreditar ser importante trabalhar com cálculo de probabilidades, particularmente quanto à herança ligada ao sexo, diz que, ao ensinar as leis de Mendel, sente seus alunos não se interessam muito por calcular porcentagens e probabilidades, pois não veem aplicação cotidiana para tal conhecimento:

(00:03:00) (...) quando eu entro na primeira Lei de Mendel, na segunda Lei de Mendel eu acho isso importante. Para eles é uma matéria mais chata, para eles é mais cansativo, quando você chega na parte de cruzamento, então para eles é tudo muito complicado. Mesmo por que entra Matemática e você tem que ter a porcentagem, probabilidade, então fica um pouco mais por que eles dizem assim “eu nunca vou usar, então não vou aprender”. Aí, quando chega na parte de Genética fica meio complicado quando chega na primeira lei de Mendel, na segunda (PB1).

Já PB2 considera fundamental o trabalho com problemas, cujo objetivo não é o de seus alunos saberem padrões de herança específicos para, por exemplo, uma determinada doença. Esse professor apresenta dados para seus alunos e pede para eles apresentarem hipóteses para explicá-los. A partir dos dados, o aluno deverá supor qual é o padrão de herança daquele caso:

(00:04:39) Eu tenho um objetivo básico que eu falo que é fundamental, um aluno meu vai sair daqui sabendo, ele vai ter que olhar para dados de um problema e desse dado conseguir propor um modelo de herança compatível com esses dados. Então, eu vou apresentar ao longo do curso vários modelos de herança para ele, de padrões de herança, só para dar repertório para ele, para ele ter alguma coisa para enxergar naqueles dados. Mas a principal ideia, por exemplo, ele não precisa saber nenhum padrão de herança de nenhuma doença de nenhuma característica. Sempre numa avaliação ou numa prova eu vou dar dados para ele. E a ideia é que ele elabore uma hipótese e consiga até avaliar se essa hipótese é compatível ou não com esses dados. Então, isso vai desde o primeiro dia de aula de Genética até o último dia de aula de Genética. Eu nunca lido com eles com regras de herança no enunciado. Eu nunca falo assim: essa doença segue a primeira lei de Mendel. (00:06:31) Não. Isso ele vai ter que perceber a partir de dados ou que estão disponíveis em tabela, gráficos, desenhos, e isso eu martelo bastante. (...) Então, esse é o principal motivo do curso de Genética que é o aluno elaborar hipóteses a partir de dados relacionados a padrões de herança. (...) (PB2).

Seu objetivo também é seus alunos conseguirem calcular probabilidades de genótipos e fenótipos específicos. Entretanto, tais problemas não seriam apresentados de uma forma simplificada, de modo que os alunos simplesmente “chutem” as respostas, e sim com situações que exigem aos alunos refletirem para propor os resultados. Desse modo, esses cálculos de probabilidade ajudariam os alunos a compreender os padrões de herança:

(00:07:32) (...) Aí uma coisa que eu coloquei também como importante para o curso é que ele conseguisse calcular probabilidade de fenótipos e genótipos específicos, como é quase que um... é esse o problema que ele tem para resolver em Genética. O que a cultura biológica, assim, a cultura científica produziu disso. Aí a chance de previsão. Só que uso essa chance de previsão não muito matematicamente. Tanto que eu brinquei com eles, eu falei assim: “Você pode chutar sempre 25 ou 75% que é sempre a resposta certa”. Mas eu coloco uns problemas assim: que eu não sei a probabilidade de um pai, que eu tenho que olhar para a do avô, ele tem que olhar como a probabilidade se insere naquilo. E vou mostrando exceções, então, quando os genes estão ligados, por exemplo, aí ele não vai poder usar aquela relação tão fácil que ele usaria. (00:08:46). É quase que para ter algo para testar os alunos para verificar. É o melhor modelo que a gente tem, eu acho de cálculo de probabilidade para ver se ele entende esta questão dos padrões de herança. Se ele tem essa lógica abstrata bem desenvolvida ao longo do curso ele consegue calcular probabilidade. (PB2)

Contando com PB1 e PB2, ao total sete entrevistados, predominantemente professores dos dois contextos, mencionam como básico os alunos trabalharem de alguma forma com probabilidades. A maioria desses professores pertence ao Grupo 2, tanto de São Paulo quanto

de Kalamazoo<sup>15</sup>. Quatro desses entrevistados, em sua maioria professores de Kalamazoo, também mencionam o ensino do uso do quadrado de Punnett como básico.

Portanto, em síntese, além das justificativas positivas com relação ao ensino de padrões de herança, encontramos a opinião de DE6 contra o ensino prioritário das leis mendelianas. A justificativa para sua opinião é justamente contrária à de vários dos entrevistados que defendem o ensino desse conteúdo como básico: segundo ele, elas não explicam o que os alunos veem no seu cotidiano, ou seja, suas próprias características. Além dessa opinião contrária ao ensino prioritário das leis de Mendel, evidenciaram-se algumas ressalvas entre outros entrevistados defensores de seu ensino. Desse modo, principalmente para alguns docentes de ambos contextos, e para PB5, professora que possui doutorado na área de Genética, não basta ficar no ensino das leis de Mendel, pois outros padrões de herança, como o poligênico, são essenciais para o aluno compreender a herança das características humanas. Há ainda diferentes opiniões sobre a importância do ensino dos padrões de herança conectados à História e à Filosofia da Ciência, mesmo prevalecendo posições a seu favor, principalmente entre os entrevistados de São Paulo e/ou entre os professores dos dois contextos. E finalmente, pode-se notar que, enquanto preponderantemente os professores dos dois contextos, principalmente aqueles do Grupo 2, consideram básicos a resolução de problemas, o uso do quadrado de Punnett e o cálculo de probabilidades, prevalecem principalmente entre os docentes argumentos sobre a necessidade de se tomar cuidado para o ensino dos padrões de herança não ficar muito centrado nesses elementos.

#### 2.2.2.2 Genética Molecular

---

<sup>15</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 2, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 2, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

A Tabela 7 apresenta uma síntese das principais justificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo Genética Molecular como básico para ser ensinado.

Justificativas similares àquelas apontadas para o ensino dos *Padrões de Herança* e para as *Leis de Mendel* foram também apresentadas para Genética Molecular.

Tabela 7 – Justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo *Genética Molecular* como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B= Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para <i>Genética Molecular</i>				ENT	
importância para o cotidiano	lidar com as informações recebidas no cotidiano	lidar com temas relacionados à Biotecnologia	desenvolver um raciocínio específico	PB1	
				PB3	
				PB6*	
				DB6	
				DB5	
				DE5	
				DE6*	
				PE4*	
	DE2				
	compreender assuntos relacionados à própria saúde e à saúde de seus filhos	compreender como as características se manifestam	compreender a herança de suas próprias características	compreender as anomalias herdadas	compreender o que os médicos dizem
					PB4*
					PB1
					PE4*
					DE2
					PE1*
					PE3
					PB4
DE6					
defender-se da ação de outros ou de fatores que possam ser prejudiciais à sua saúde					
DE1					
PE3					
compreender o que ocorre em seu organismo				PE6	
compreender que o teste de DNA permite identificar o responsável perante uma paternidade				PB1	
compreender outros conteúdos conceituais	compreender a relação dos aspectos moleculares com a Genética Clássica ou os aspectos citogenéticos			DB1	
				DB5	
				DE6	
	compreender tópicos mais complexos na Universidade			DE2	
compreender as descobertas da Biologia			DE3		
compreender como o conhecimento científico se constrói			DB5		
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento			DE3		
			DB6		
			DE4		
obrigatoriedade do ensino dos conteúdos	importância de se ensinar os conteúdos do(a) (proposta) currículo(ar) estadual		preparar alunos para testes	PB4	
				PE1	

Quinze entrevistados (63% da amostra) também apresentaram justificativas para o ensino de *Genética Molecular* baseadas na *importância do conteúdo para o cotidiano*. Doze deles também justificam que compreender a Genética Molecular é importante para o aluno *lidar com as informações recebidas no cotidiano*.

Um exemplo é PB1, para a qual é importante os alunos compreenderem sobre o DNA, pois eles leem nas revistas sobre o assunto e sobre novas doenças que estão surgindo:

(00:03:00) (...) Para o dia-a-dia, a questão do DNA, eu acho muito importante, a parte molecular também. (...) (00:05:46) Nas revistas veem muito esta questão do DNA, do porque estão aparecendo novas doenças, o que estão fazendo de pesquisa em relação à doença, se a herança se puxa de uma família que já tem. (...) (PB1).

Outro exemplo é DE6, o qual, após mencionar conteúdos relacionados à Genética Molecular como básicos, apresenta uma justificativa também relacionada à questão da mídia. Para ele, diariamente se ouvem notícias no rádio mencionando a conexão entre um gene e a determinação de alguma característica. Desse modo, julga que é importante que o aluno compreenda o significado das conexões genéticas encontradas, o que envolve conhecer o que é o DNA e os processos e interações moleculares que farão aquela característica genética se expressar:

(00:26:36) E: Could you summarize why you think this content is important for them to become a ([criti ...]  
 (00:26:52) citizens?)  
 (00:26:53) Yeah.  
 (00:26:54) DE6: Yeah, well I could treat it anecdotally. I can't turn on the radio and listen to the news stations I listen to... maybe, not all of them are the same... we can't listen to the news for more than a few days without hearing discussions of various issues in Biology including many of these things. They are bombarded with... you know... scientist discovered a new gene for... you name it, or scientist discovered a genetic link between such and so. I can begin to whole particularly understand the tools the scientists use to discover that link, that's not the important point but I worry that too many students, if you say genetic link, they can't make any connection. The Genetics, what does it mean to them? It means, I guess, I inherit it. I guess that's what that means, you know. (00:27:56) But unless they understand that if you say genetic link, you are talking DNA, you are talking these little things, they are molecular in nature in your cells, that you get from your parents, and if there is a genetic link sooner or later it has to be played out, probably through these kinds of molecule interactions and processes.

Para DE6, a Genética Clássica não é suficiente para que os alunos compreendam o que ouvem na mídia, considerando importante para tanto a abordagem da Genética Molecular:

(00:43:49) (...) I think that if you stop there, if you stop your treatment of Genetics with sort of just Classical Genetics and skip Molecular Genetics and Molecular Biology you just kind of confuse the kids because all they are gonna hear in the media is DNA, that's the way I see it, I mean, all is DNA, we live in this DNA century in the world now and everything they learn about Biotechnology isn't about laws and segregations, it's about manipulating DNA (...) (DE6).

É possível verificar que, para DE6, aprender Genética Molecular é importante para os alunos compreenderem sobre os *assuntos relacionados à Biotecnologia*. Ao total, 7 entrevistados também apresentam essa justificativa, principalmente aqueles do grupo dos docentes, bem como os entrevistados de Kalamazoo.

Já DB5 diz que a escola precisa orientar os alunos, pois hoje os conceitos da Genética Molecular vêm aparecendo de forma distorcida, por exemplo, nos documentários, dentre eles o suposto conceito de código genético:

(00:08:00) hoje qualquer pessoa tem muito mais acesso a documentários científicos do que tinha antigamente (...) Dependendo de quem escreve ou dependendo de quem faz o filme, um determinado conceito que tem a ver com Genética, que tem a ver com material genético e com Biologia Molecular é totalmente distorcido. Um deles, um dos mais frequentes, é o conceito de código genético. Acho que isso na escola tem que ser colocado de uma maneira muito clara e enfatizada, até pedindo para as pessoas tomarem cuidado (...) (DB5).

Segundo DB5, a expressão código genético vem sendo abordada como algo particular de cada indivíduo, ou seja, como se cada organismo tivesse seu próprio código genético, em vez de considerar o código genético como universal<sup>16</sup>:

(00:10:00) Por exemplo, é muito comum você ver o pessoal em dúvida (...) (00:11:00) quanto à ideia de código genético. O pessoal imagina muitas vezes que código genético é uma coisa particular de cada indivíduo, que cada um tem o seu código genético...você escuta muitas vezes...Ou então: “nos códigos genéticos ou no código genético de tal organismo”, isso não faz sentido nenhum. O código genético é um só. Ele é um só, é utilizado de vírus até mamíferos. Então, porque falar em códigos genéticos? E agente escuta esse tipo de coisa frequentemente. (...) (DB5).

A mesma preocupação é apresentada por DB6, que vê seus alunos chegando na universidade com a mesma concepção de código genético apontada por DB5. Segundo a docente, na universidade eles enfatizam a correção desse conceito, mas essa *misconception*

---

<sup>16</sup> Deve-se considerar, porém, que as referências apontam algumas exceções para a universalidade do código, como poderá ser visto mais adiante durante a análise dos livros didáticos, seção 3.2.4.11, página 281.

continua aparecendo. Ainda afirma que essa versão do conceito não aparece apenas entre os estudantes, mas entre os professores da Universidade e de especialistas da genômica que se expressam na mídia:

(00:11:45) (...) O outro assunto que eu comentei, código genético, pra mim um dos conhecimentos mais centrais da Biologia. Estou cansada de ouvir aluno da Universidade, até professores dessa Universidade usarem esse termo de modo inadequado. Eles usam esse termo, código genético, como sinônimo de material genético ou constituição genética do indivíduo. Então, saem pérolas, os alunos falam “cada um tem seus códigos genéticos”, mentira, código genético é um só, é universal. Então, isso significa que os professores estão usando código genético como sinônimo de material genético, constituição genética de um ser, isso não é verdade. Talvez uma espécie de sinônimo de genoma. Então, esse termo está rodando na boca do estudante da faculdade de modo errado, a gente bate o pé com isso e continua aparecendo e aparece até em entrevista de professores doutores da genômica, etc., que falam essas coisas no rádio e na televisão e eu fico incomodada, eu falo “Gente, o código genético é aquele das letrinhas, que é universal, cada um tem seu código genético!? Cada um tem seu material genético! Cada um tem sua própria constituição genética. O código genético está na coisa das letrinhas lá”. Então, os alunos estão vindo falando.... (DB6).

As preocupações de DB5 e DB6 quanto ao uso do termo “código genético” remetem à discussão de como o conhecimento se figura e pode ser utilizado em diferentes contextos. Apesar da necessidade de haver a transposição didática, parece ser pertinente esperar que, dentro do ambiente escolar e universitário, se mantenha um determinado rigor com o conhecimento científico e se aproxime do saber de referência. É razoável que nesse ambiente se faça o uso especializado da expressão discutida. Entretanto, cabe se perguntar se essa expectativa é válida para todos os contextos. A versão apresentada pelos alunos e presente na mídia refere-se a um uso leigo do termo, adequado para aquele que desconhece códons e anticódons. Portanto, não se pode esperar que, num contexto externo ao escolar e acadêmico, tal expressão seja utilizada com o mesmo rigor. É compreensível que ocorra um maior laxismo com relação ao seu emprego nesses outros ambientes.

Para DE6 e DE2, a Genética Molecular é importante para os alunos compreenderem a nova linguagem do mundo. Como se pode verificar na citação acima mencionada nesta seção (página 126), DE6 diz que estamos vivendo no século do DNA; por isso, os alunos precisam aprender sobre a Biologia Molecular. Para DE2, esse aprendizado é importante, pois tudo o que se fala sobre o mundo atual está relacionado ao aspecto molecular: as novas drogas, o discurso do mundo das tecnologias, dos negócios e da medicina:

(00:08:42) E: I asked you about Biotechnology, and... because Biotechnology and Molecular Biology are polemic in my interviews. Some professors, some teachers think that it's important to teach, some don't. And it's because of this that I would like to know your opinion.

(00:09:21) DE2: I think it's critical myself. Not just because of what I wanna teach or what I want them to learn but because that's how we talk about everything anymore in the world. We are talking about the newest drug, we are talking about, and what does it do? It affects a certain protein in your body that does something. So even when you talk to your doctor you have to have a general concept of what a gene and a protein is, how they function, what that really means to you to understand what your doctor is talking about. I mean otherwise, for just teaching them sort of Mendelian, sort of the old school way of teaching, were not getting them prepared, even if you were not a biologist, just to exist in the world, that's how technology talks about stuff, how business talks about stuff, that's how most of the medical system talks about stuff. It's based on a gene, in a cell and all of that (DE2).

Nessa citação, para DE2, seria importante compreender o que são e como funcionam os genes e as proteínas, minimamente para a *compreensão do que os médicos dizem*, justificativa ainda apresentada por mais dois professores também de Kalamazoo.

Dessa forma, também se nota que as opiniões de alguns entrevistados estão relacionadas à importância *de compreender assuntos relacionados à própria saúde e à saúde de seus filhos*. Justificativas relacionadas a esses aspectos estão presentes em oito entrevistados, em sua maioria do contexto de Kalamazoo.

PE3 e DE1, por exemplo, ambos do contexto de Kalamazoo, apresentam justificativas relacionadas a uma preocupação com o aluno ser capaz de se defender não somente do discurso de outros, mas também *se defender da ação de outros ou de fatores que possam ser prejudiciais à sua saúde*.

DE1, por exemplo, diz julgar importante os alunos compreenderem o DNA, que mutações podem ocorrer, e como podem ocorrer. Segundo o entrevistado, isso seria importante, pois eles enfrentarão tais aspectos em sua vida, precisarão ser capazes de avaliar substâncias oferecidas pelo mercado, ou até mesmo compreender os perigos que substâncias inseridas no ambiente podem causar. Com isso, julga importante fazer uma associação com câncer e outras doenças que os alunos poderão enfrentar ao longo de suas vidas:

(00:05:50) So the molecular side, again it should be probably more in depth and probably should understand something involving the structure of a DNA maybe not be able to physically draw a DNA allele but understand that it is made up of four bases, mutation occur by a variety of mechanism, how mutations occur because they will face that in their lifetimes trying to evaluate certain chemicals that people are trying to sell you or a company is trying to put into the environment, damages in DNA, probably understand what that really means and what mutations can link to cancer, other diseases and so that is basically trying to understand what they may face in their lives as they go along. (...) (DE1).

Há também quatro entrevistados, em sua maioria entrevistados de Kalamazoo e professores, que apresentam justificativas relacionadas à importância de conteúdos relacionados à Genética Molecular para os alunos *compreenderem como as características se manifestam*, mais especificamente, *como ocorre a herança de suas próprias características*. A maioria dessas justificativas são gerais e já referidas para os conteúdos Padrões de Herança e Leis de Mendel (a partir da página 107). Algumas, apontadas por dois professores de Kalamazoo, trazem elementos sobre a importância dos conteúdos escolhidos para a compreensão das características dos filhos *de como as anomalias são herdadas*.

Cabe destacar, por exemplo, a justificativa de DE6 que está mais relacionada aos conteúdos da Genética molecular. Em sua justificativa geral, diz considerar os conteúdos que escolheu como básicos para os alunos entenderem o significado daquelas características que podem ter herdado de seus pais, que elas são expressões de seus genes, compreendendo-se a si mesmos como entidades biológicas:

(00:29:11) [...] I'd argue that this even just from a pure matter of being human, having some appreciation what the hell did you inherit from your parents, you know, appreciation that when we say you inherited your blue eyes from your mother, what does that really mean, it means you have genes and how that plays out, I think just to me it's (in common that) anyone to have some appreciation for what they are as biological entities (...) (DE6).

Outros tipos de justificativas ligadas ao cotidiano aparecem no discurso de alguns entrevistados em específico.

PE6, após ser questionado se considera importante ensinar conteúdos relacionados à Genética Molecular, tais como transcrição, diz considerar importante ensinar os processos de síntese proteica para o aluno *compreender o que ocorre em seu organismo*, como, por exemplo, num simples ato cotidiano de tomar um leite:

(00:23:14) E: And about transfer, transcriptions. (...) Do you think that it's important?

(00:24:04) PE6: Yes. To teach transcription is followed by translation. And we end up with protein synthesis. Because I think that's important for students to realize that we have a gene and how do we get proteins, sometimes I bring it up in class: you drink milk and you need a certain protein to bring down that milk. "How does that happen?", "What is your body doing as soon as you drink that milk?", "What is going on?" (...)

Outra justificativa é apresentada especificamente por PB1, que fala sobre a importância de aprender sobre o DNA para compreender que com o teste é possível identificar a *responsabilidade dos alunos perante uma paternidade*, tópico relacionado ao cotidiano de seus alunos, que se tornam pais muito jovens:

(00:04:06) A questão do DNA, primeiro eu gosto de falar porque assim primeiro eles são pais e mães muito cedo ((risos)) então eu acho importante você estar falando, e pelo fato também das doenças que estão aparecendo, por que estão aparecendo as doenças, então eu acho importante ensinar DNA por causa disso. (...) (00:06:35) Realmente eles são pais muito cedo e aí falam assim: “o filho não é meu”. Eu falo que hoje não há como não saber que não é seu filho. Eu falo para eles que hoje não tem como você dizer que não é o seu filho. Nem que seja pelo fio de cabelo você vai provar que o filho é seu. (...) Mas a questão do DNA, eu acho que é importante eles saberem que uma consequência deles o DNA vai provar. Tanto que eles brincam que antes tinha o programa do Ratinho que fazia DNA. Agora eu falo: “Agora não tem mais Ratinho não, você vai ter que gastar o seu dinheiro”. A questão do DNA eu acho importante por causa disso. Você termina trazendo uma coisa do dia-a-dia deles, porque não adianta você estar só em cima dos livros e você não falar do dia-a-dia deles. Você tem que voltar a aula para o dia-a-dia deles, o que eles estão vendo, porque eles estão vendo isso, como é importante ele estar vendo (PB1).

Além das justificativas relacionadas com a compreensão de aspectos relacionados ao cotidiano dos alunos, cinco entrevistados, todos docentes de ambos contextos, também apresentam justificativas que consideram a Biologia Molecular importante para a *compreensão de outros conteúdos conceituais*.

Três desses entrevistados comentaram sobre a importância de se entender a Genética Molecular *para a compreensão da relação dos aspectos moleculares com a Genética Clássica ou os aspectos citogenéticos*.

Para DB5, por exemplo, é importante conectar aspectos moleculares do DNA com a sua organização dentro do núcleo, para evitar que o aluno confunda as fitas da hélice da molécula de DNA com cada um dos cromossomos homólogos do organismo diploide. Segundo o entrevistado, isso é importante para o aluno compreender a divisão celular:

(00:38:34) (...) Agora eu lembrei outra coisa superimportante pensando na Genética. Uma confusão que alguns fazem é assim: você tem um DNA cuja estrutura é de uma dupla hélice... Tem gente que faz uma confusão tremenda disso na hora de transpor essa molécula. Porque essa molécula no núcleo está em algum lugar, está em uma estrutura. Quer dizer, ela é uma estrutura, mas que está dentro de uma outra estrutura chamada cromossomo. E aí rola uma bagunça muitas vezes da dupla hélice no DNA com um organismo diploide. Tem gente que acha que uma cadeia está em um homólogo e que outra cadeia está em outro. Então, essa questão... nesse ponto, é muito importante você mostrar para as pessoas como é que esse material genético está organizado no núcleo. Até para o pessoal entender depois como é que se dão as

divisões celulares, porque pode rolar uma confusão tremenda dessa dupla hélice com a sabe... com um organismo diploide, cromossomos homólogos. (00:40:01) Então, aí é muito importante tentar juntar essas coisas nesse ponto porque senão a confusão pode ser total. Tá? (...) (DB5).

Já DE2 acredita que é importante ensinar vários tópicos relacionados à Biologia Molecular, tais como gene, promotor, regulação gênica, para os alunos não ficarem perdidos ao chegarem à universidade, onde ele, enquanto docente, poderá abordar tópicos mais complexos, em vez de tratar desses tópicos que considera básicos:

(00:0:40) (...) I guess for me what they need to know, or maybe I'd rather say, what I don't see them getting and I would like to see them come to me already with is a better understanding of what a gene is. (...) (00:01:37). So, that there is a promoter. What is a promoter for? Why is it there? Not just turning it on but some regulation stuff. So, when they get that and really have it at the core of themselves when they come into my class makes my teaching so much easier because they're not lost in DNA, proteins, what's the connection, they're not lost necessarily in that piece so we can talk about deeper subjects and also prepare them for the other courses coming down the line which could then talk about deeper things (DE2).

Ainda para DE3, uma das duas maiores descobertas da Biologia é a estrutura do DNA e, ao compreendê-la, fica mais fácil compreender outras descobertas:

(00:03:05) (...) But in Biology there are only two basic discoveries. Everything else is revolving around it. The first important discovery in Biology of Biomedical Science is evolution and the second one is the structure of the DNA. (00:03:51) Everything else is secondary, those are the two primary discoveries. So once you understand those primary discoveries it probably will be easier for you to look into the secondary discoveries. So, Molecular is not something sitting itself in some place alone, it is really an integral part of Modern Biology (DE3).

Verifica-se que DE3 considera a descoberta da estrutura do DNA como uma das duas mais importantes descobertas da Biologia. Nesse caso, a justificativa também está ligada à *importância do conteúdo dentro da área de conhecimento*. Ao total, três docentes (de ambas localidades) apresentam essa justificativa para o ensino de Genética Molecular<sup>17</sup>.

Outras justificativas apresentadas por alguns entrevistados para Leis de Mendel e Padrões de Herança também são referentes à Genética Molecular; dentre elas, *compreender*

---

<sup>17</sup> As citações dos demais docentes (DB6 e DE4) são as mesmas da seção anterior, apresentadas para justificar o ensino de Padrões de Herança e Genética Molecular (página 82).

*como o conhecimento é construído*<sup>18</sup>, *desenvolver um raciocínio específico no aluno*<sup>19</sup> e a *obrigatoriedade do ensino dos conteúdos*<sup>20</sup>.

Diante de todas as justificativas apresentadas relacionadas à importância do ensino da Genética Molecular, podem-se destacar alguns elementos. As justificativas referentes à importância de tais conteúdos para o cotidiano dos alunos, em especial para eles lidarem com as informações que recebem, estão similarmente presentes entre os vários grupos de entrevistados. Entretanto, as subcategorias dessas justificativas estão mais concentradas em certos grupos de entrevistados. Aquelas relacionadas à importância dos referidos tópicos para os alunos compreenderem as informações presentes na mídia são mais frequentes entre os entrevistados brasileiros; aquelas relacionadas ao entendimento da Biotecnologia estão mais frequentes entre os docentes, principalmente de Kalamazoo, e ainda as referentes à compreensão sobre a saúde dos filhos encontram-se mais dentre os entrevistados de Kalamazoo. Além das justificativas relacionadas ao cotidiano, existem outras associadas à importância desses conteúdos, em especial os padrões de herança, presentes geralmente entre os docentes dos dois contextos. Há também algumas razões mencionadas por poucos entrevistados, que incidiram especificamente em certos grupos, tais como aquelas referentes à importância da centralidade dos conteúdos, em docentes dos dois contextos; as relacionadas ao domínio do conceito de código genético, nos docentes de São Paulo; as associadas à compreensão do que os médicos dizem e à ciência das consequências de certos produtos mutagênicos causadores de câncer e outras doenças disponibilizados no mercado, em entrevistados de Kalamazoo; e novamente as ligadas à obrigatoriedade de se ensinar os conteúdos, em professores do Grupo 1<sup>21</sup>.

Finalmente, é preciso dizer que, apesar de tais afirmações positivas, há a opinião contrária ao ensino da Genética Molecular no Ensino Médio, apresentada por DB3:

---

<sup>18</sup> Apenas por DB5.

<sup>19</sup> Apenas por PB5.

<sup>20</sup> Também por PB4 e PE1.

<sup>21</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

(00:14:26) E: E questões moleculares, a senhora acha que são secundárias para o Ensino Médio, ou isso também é prioridade? Por exemplo, entender qual é a estrutura do DNA, como que funciona o código genético, essas coisas.

(00:14:44) DB3: Pois é, eu acho assim, na verdade eu considero que da maneira como está sendo dado no curso do Ensino Médio, esses conceitos todos, era melhor que não desse. Porque ele está sendo dado sem o conceito correto, então acaba soltando um monte de palavras, como se fosse um glossário na cabeça de um indivíduo, isso não faz muito sentido, né? Então, ah, por exemplo, DNA, bom, questionamento que ainda tinha que aquele DNA é o próprio gene? Nós estamos falando de Genética, estamos falando de gene e não estamos falando de DNA. Então, ele chega aqui achando que DNA é DNA, gene é gene. Não. Gene é aquele DNA. Então, é preferível que não desse... (...). (00:16:00) Então, uma coisa está numa gavetinha e outra coisa está em outra gavetinha. Então, eu acho assim, por isso que eu falo para você, é preferível que não falasse sobre isso porque pelo menos não vinha com esse viés de conceito, né? (...) (DB3).

Portanto, DB3 acredita que os tópicos de Genética Molecular não estão sendo ensinados com conceitos corretos, e sim como uma coleção de vocábulos novos, os quais não fazem sentido para o aluno. Segundo essa docente, o aluno fica sem compreender, por exemplo, qual é a relação entre DNA e gene, e acaba ficando com conhecimentos compartimentados. Desse modo, DB3 acha que é melhor não ensinar tais conceitos, pois, assim, os alunos não chegariam à universidade com tais conhecimentos enviesados.

### 2.2.2.3 Divisão celular

A Tabela 8 apresenta uma síntese das principais justificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo *Divisão Celular* como básico para ser ensinado.

No caso específico relacionado à *Divisão Celular*, pode-se verificar que, sendo um conteúdo mais mencionado por entrevistados brasileiros, as justificadas apresentadas estão na maioria das vezes presentes dentre os entrevistados desse grupo. Apesar de haver outros conteúdos mais citados entre os entrevistados estadunidenses do que este, tais como o conceito de gene, é importante lembrar que esse também é um conteúdo preponderantemente mencionado pelos entrevistados estadunidenses, citados pela metade dos participantes desse grupo.

As falas de sete entrevistados (tanto professores como docentes) evidenciam que eles consideram básico ensinar divisão celular, principalmente meiose, para os alunos poderem

compreender outros conteúdos, em especial, para seis desses entrevistados, compreender os padrões de herança.

Tabela 8 – Justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo *Divisão Celular* como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para <i>Divisão Celular</i>					ENT	
compreender outros conteúdos	compreender os mecanismos geradores de diversidade				PB6	
					PE3	
					DB6	
	compreender os padrões de herança					PB2
						PB6
						DB2
						DB3
					DE5	
evitar a desconexão dos conteúdos				DB6		
				DB4		
importância para o cotidiano	lidar com as informações recebidas no cotidiano	lidar com temas relacionados à Biotecnologia			PB6	
			preparar-se para votar		DE5	
					PE4	
				DB5		
				DB6		
				DB3		
	desenvolver um raciocínio específico				PB2	
					PB5	
	compreender assuntos relacionados à própria saúde e à saúde de seus filhos	compreender a herança de suas próprias características	compreender como as características se manifestam	compreender as desordens herdadas	compreender o que os médicos dizem	PE4
						PE1*
						PE3
					PB4*	
compreender o que ocorre em seu organismo				DB2		
compreender como o conhecimento científico se constrói				DB5		
				DB3		
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento				DB1*		
obrigatoriedade do ensino dos conteúdos	importância de se ensinar os conteúdos do(a) (proposta) currículo(ar) estadual				PB4	
			preparar alunos para testes		PE1	

Para DB2, a divisão celular é um dos pré-requisitos necessários para as leis de Mendel fazerem sentido ao aluno:

(00:01:10) Bom, eu acho que o básico, o básico, o básico de tudo é...ãh...na parte da Genética Clássica são as leis de Mendel. Certo? Agora as leis de Mendel elas só

fazem sentido para o aluno se ele souber a teoria cromossômica da herança, ou seja, se ele souber associar os processos de divisão celular, o que são os cromossomos, o que é o cromossomo aonde está o material hereditário, o que é o gene, onde ele está localizado e como esse material se segrega na formação dos gametas, né? (DB2).

DB2 justifica que, sendo a Genética abstrata, é necessário o professor fazer tais conexões para deixar os conteúdos mais claros para os alunos:

(00:01:10) (...) Ele só vai entender as leis de Mendel se ele entender essa relação que existe com a própria divisão celular que por outro lado faz parte de cada unidade que forma o organismo. (00:02:16) Então,...porque a Genética é muito abstrata, trata de conceitos que estão dentro da categoria do não visível a olho nu. Está certo? Então, eu acho que o aluno precisa, ele precisa realmente entender a coisa, o professor precisa usar de recursos e fazer ligações e conexões que permitam que o aluno tenha aquilo de uma maneira que faça um sentido, porque é muito fácil eu fazer uma segregação 3:1 só usando número. O aluno faz! Agora se aquilo lá tem algum nível de compreensão para ele, isso eu não sei, eu acho que não, se ele não entender a teoria cromossômica da herança (...) (DB2).

Para PB6, é impossível separar a Genética Clássica da Citologia. A desconexão dos conteúdos pode levar o aluno a não compreender o que é um organismo diploide:

(00:00:05) (...) Agora, é impossível desvincular a Genética Clássica da meiose, da divisão, da Citologia enfim. Porque depois que ele termina um ano inteiro, você pode surpreendê-lo com uma pergunta: “O que é um organismo diploide?” Ele não sabe. Então, não pode desvincular uma coisa da outra. Não pode desvincular meiose, por exemplo, porque a meiose, ela é importante desde o momento em que você ensina a primeira lei de Mendel. O que tem a ver a primeira lei de Mendel com a meiose. Aí depois ela se torna também importante, no momento da segregação independente, quando você trabalha com dois pares de genes. A meiose também se torna independente ((ocorreu aqui provavelmente uma troca de palavras, onde se desejava falar importante)) quando fala em não-disjunção, mutações, síndrome de Down, etc. Então, é impossível desvincular as duas coisas. (...) (PB6).

Para duas docentes de São Paulo que lecionam disciplinas da área de Biologia Molecular DB4 e DB6, ensinar divisão celular e meiose é central no ensino de Biologia para *se evitar a desconexão dos conteúdos*.

DB6, por exemplo, explica por que considera problemático o fato de se ensinar meiose em um ano e, ao se ensinar leis de Mendel no outro ano, não estabelecer conexões com aquele conteúdo:

(00:02:24) (...) Então, a divisão celular e a meiose são uma das coisas mais centrais que tem, se você for pensar no Ensino Médio. O camarada que não entendeu a meiose ele é um camarada fadado a aprender uma série de conhecimentos como estanques, como compartimentos, ele é incapaz de fazer síntese. (00:03:26) Então,

eu não estou muito próxima dos livros didáticos do Ensino Médio, na minha opinião o que eles apresentam até que é adequado, o meu problema é a maneira como isso vai ser processado. Então, um professor dá a primeira e segunda Lei de Mendel e não fala nada de meiose. No outro ano, na Biologia Celular, vai dar mitose e meiose e o camarada não amarra aquela meiose, aquela separação dos cromossomos com aquela separação lá dos alelos, dos fatores de Mendel. (00:03:52) Então, ele terminando separado, ele não junta isso, não tem nada a ver a segregação com a meiose. Aí você fala que a reprodução sexuada é importante porque ela aumenta a variabilidade genética e isso é o substrato da evolução e o camarada não liga isso com o sorteio dos cromossomos que acontece na meiose de todo ser vivo diploides (DB6).

Ao total, três entrevistados justificam que o ensino dos mecanismos de divisão celular é importante à *compreensão de mecanismos geradores de diversidade*. Conforme citação acima, página 135, PB6 fala da sua importância para compreender as mutações. Já DB6 acredita que a meiose explica a diversidade dos seres vivos e a Teoria da Evolução:

(00:02:24) (...) Uma coisa que está por trás de tudo isso que eu falei é a divisão celular, a meiose, por quê? A meiose explica a transmissão mendeliana das características, correto? Então, ela explica a primeira Lei de Mendel, a segunda Lei de Mendel. A meiose explica a diversidade dos seres vivos que é o substrato da Teoria da Evolução, substrato para o processo evolutivo (...) (DB6).

Há ainda PE3, que afirma ser possível, pelo processo de meiose, compreender a recombinação, a variação genética e, enfim, por que todos os organismos não são iguais: “(00:03:21) And then, with meiosis we just would like to talk a little about genetic recombination, the genetic variation so that they understand why we don’t all look alike, that we have different alleles, we have different varieties because of that. (...)” (PE3).

Outras justificativas apresentadas para Divisão Celular, listadas na Tabela 8 são em sua maioria as mesmas apresentadas pelos entrevistados para Padrões de Herança e Leis de Mendel<sup>22</sup>, não necessitando novamente serem repetidas. Elas estão relacionadas à *importância do conteúdo para o cotidiano dos alunos*, à *compreensão de como o conhecimento científico se constrói*, à *importância do conteúdo dentro da área de conhecimento* e à *obrigatoriedade do ensino dos conteúdos*.

Há, porém, dois exemplos que, por estarem diretamente relacionados ao conteúdo Divisão Celular, especificamente Meiose, merecem ser mencionados. Um deles é uma citação, apresentada por DB2, que está relacionada à *importância do conteúdo para o*

---

<sup>22</sup> E, no caso específico de PE4, para Genética Molecular.

*cotidiano*. Diz especificamente que é importante os alunos compreenderem como o material genético é separado no organismo materno e no organismo paterno para *compreender o que ocorre em seu organismo*:

(00:05:26) (...) para ele entender as leis de Mendel o ideal seria que ele tivesse primeiro noções de célula, (...) da localização do material hereditário, de mais ou menos como é que esse material hereditário funciona para que ao entender depois como é que no organismo materno e no organismo paterno esse material vai ser separado, vai ser distribuído e depois juntado para fazer um outro organismo. Então, ele vai estar entendendo, o aluno, quando ele entender isso, eu acho que ele vai estar entendendo um pouco de como funciona o próprio organismo dele. Está certo? Como é que a espécie humana tem as suas informações e passa essas informações de uma geração para a próxima. (...) (DB2).

O outro exemplo trata-se de uma citação mais diretamente relacionada ao conteúdo Meiose, apresentada por PB2, o qual explica que, em sua opinião, a meiose não tem um papel direto para a formação do cidadão crítico, e sim um indireto, pois *favorece-lhe desenvolver um raciocínio*<sup>23</sup> que lhe será útil para *compreender as informações que recebe*:

(00:22:03) (...) Daí vem uma pergunta que você fez que é assim: “Ah! Mas qual é a relevância disso para o cidadão? Nenhuma. Eu não acredito em um curso de Biologia utilitário. (...) Um indivíduo não vai precisar saber nada sobre meiose, ele vai ter duzentos filhos ou nenhum de acordo com outras questões que não passam por um curso de Biologia. (00:23:11) Essa da meiose não serve para nada. Mas se não serve para nada, por que é que eu ainda ensino? É porque ensina uma maneira de pensar. Uma maneira de pensar que eu acho que essa sim é muito útil para a pessoa. Essa ideia dos dados, elaborar um modelo explicativo. Se a gente conseguisse que metade da população do Universo fizesse isso a situação seria outra. (...) (PB2).

Verifica-se que, para o entrevistado, o ensino de Genética, assim como os demais conteúdos da Biologia, não são fundamentais para a formação de um cidadão crítico. Essa formação pode ser também obtida por conteúdos de outras áreas. Porém, para ele, o ensino da Biologia e da Genética é excelente para atingir esse objetivo, e considera que seria lamentável descartar essa possibilidade. Segundo o entrevistado, se o indivíduo apresenta uma base sobre Genética, poderá com mais facilidade compreender uma nova informação com a qual se depare, apesar de não acreditar que a ausência desse conhecimento impeça a aprendizagem desse novo conteúdo, e sim apenas a dificulta:

---

<sup>23</sup> Como mencionado brevemente na seção 2.2.2.1, página 77, e aqui melhor explicitado.

(00:41:02) E: Então, na sua opinião, os conteúdos de Genética não são essenciais para formar um cidadão crítico. O que é importante para você é o modo como ele vai pensar. É isso?

(00:41:15) PB2: É. E aí eu vou só relativizar essa sua frase, por que ela ficou pesada, eu ouvindo agora o que eu falei eu falei nossa... A Genética é um ótimo conteúdo para desenvolver um cidadão crítico. Ela não é O conteúdo. Ela é um ótimo conteúdo. E se eu for pensar num professor de Biologia, eu sou o cara que representa essa área da Ciência para esse bando de adolescentes, eu escolho a Genética e tudo que ela tem disponível. Mas se a gente cortasse a Biologia do curso, eu ia achar lastimável porque ele ia perder oportunidade de estudar a vida, misturar várias áreas, discutir questões éticas atuais, mas no fundo ele vai conseguir viver bem. Assim, eu vou lamentar, eles não vão ter essa formação que para mim foi fundamental para estruturar a minha vida, mas ele consegue ter essa formação crítica em outras áreas ou em outros conteúdos até.

(...)

(00:43:14) PB2: Se eu tenho familiaridade com o assunto de Genética, quando sair uma novidade da Genética, eu vou ter mais facilidade para entender, mas se eu só tenho facilidade para entender política ambiental, e consegui aprender bem, sei ler um texto, analisar dados, tenho essas habilidades desenvolvidas mesmo em um outro tema, eu vou ficar só chato falando: “O que é gene... o que é DNA... o que é isso...” Mas eu vou conseguir estruturar meu pensamento e avaliar. Posso demorar mais, posso demorar menos, mas eu não acredito que nada que um cidadão comum tenha que lidar possa ser feito tão rapidamente. Precisa pensar muito sobre isso. Vai precisar de tempo.

Como PB2 não acredita em um curso de Biologia utilitário, ele apresenta uma justificativa geral para ensinar Genética mais voltada para o trabalho de habilidades cognitivas. Ele diz que a Genética é um bom tema para trabalhar com modelos abstratos, com dados matemáticos, e estruturar o pensamento dos alunos:

(00:25:01) E: Não sei se entendi bem, mas para você o mais importante seria o desenvolvimento das habilidades...

(00:25:09) PB2: Cognitivas

(00:25:11) E: ... do que o conteúdo em si que ele está vendo.

(00:25:14) PB2: É. É. É lógico que dentro da Genética eu não vou conseguir desenvolver com eles, por exemplo, tão bem a descrição, que é uma coisa importante conseguir descrever. Descrever o mundo, a realidade. A Genética não é o melhor assunto para isso. No que ela é boa? Nessa questão dos modelos abstratos, nos dados matemáticos, coisa que em Ecologia não tinha. (...) Mas pensando assim: “Por que escolher esse ((Genética))?”, é porque estrutura o pensamento dos meus alunos. Estrutura o pensamento dos meus alunos e de qualquer outro aluno, se bem utilizada.

Apesar de defenderem o ensino de divisão celular no Ensino Médio, alguns entrevistados, tais como os docentes DB2 e DE5, apresentam algumas ressalvas. DB2 acredita que a abordagem desse tópico não deve enfatizar a memorização de nomes de fases; o importante é os alunos compreenderem como ocorre a segregação e consigam associá-la à

constituição do organismo. Para tanto, julga que, durante o ensino de Genética, é melhor nem abordar tais nomenclaturas, para os alunos não se perderem com elas e aprenderem o que realmente é essencial no processo:

(00:02:25) É. Mas não aquela divisão celular, não aquela meiose cheia de nomes né, leptóteno, zigóteno, paquíteno, diacinese, tal. Enfim, o aluno acaba decorando uma porção de nomes preocupados em cada uma das fases, né, ele fica perdido nessa descrição e na maioria das vezes não existe a correlação o significado da meiose. (...) propriamente dita, né? Quer dizer, é vincular leis de segregação com constituição do organismo... Se ele entendeu isso, pronto. (...).

(00:04:42): Não é o objetivo, se o ensino for de Genética é até salutar que eles não estejam presentes, esses nomes. E sim o que ocorre, quando que os homólogos se separam, quando que os genes maternos e paternos vão para uma célula e para outra, em termos de significado que a meiose I e II possuem. (DB2)

Do mesmo modo, DE5 também não considera que seja importante os alunos decorarem as fases da meiose e da mitose e seus nomes. O realmente relevante é que eles compreendam o processo conceitualmente, entendendo como ele ocorre e por que ele é importante para a herança:

(00:02:15) (...) Things like mitosis and meiosis as processes I think are important. I do not think it's necessary that they memorize the phases of mitosis and the phases of meiosis and know the names, I think that the tracks for them to understand it conceptually, what's happening in the process and why that processes are important for inheritance (...). (DE5)

Para DE6, quando se fala em ensino de Genética, os processos de meiose e mitose podem ser até ensinados brevemente, de modo a esclarecer que a mitose consiste em separações simples e a meiose consiste em misturar e dividir tudo pela metade. Porém, também não acredita ser necessário nomear todos os estágios e apresentar detalhes sobre eles:

(00:07:02). And if they had a prior Cell Biology introduction to cell division then I think they can very quickly just explain the point of mitosis is simply to separate and then the point of meiosis is to scramble and shuffle and split things in half. Again I don't think at this stage for Genetics they need to name all the stages for what the microtubules are doing, that's really Cell Biology, I mean, that would be nice but I don't think that is central as Genetics goes, ok? (...). (DE6)

Entretanto, a opinião desse docente difere da dos demais entrevistados: para ele, os alunos do ensino secundário não precisam realmente compreender a meiose. Ele coloca em dúvida a necessidade de abordá-la junto com as leis mendelianas. Comenta que seus alunos,

mesmo tendo estudado várias vezes tais processos, têm dificuldade em compreendê-los. Diz que esse tipo de conhecimento é importante para futuros biólogos, mas, para um cidadão comum, basta saber que ele possui metade dos genes de seu pai e metade dos genes de sua mãe e como, de acordo com as leis mendelianas, eles expressam o fenótipo:

(00:39:05) And again it's stupid in my opinion to teach Mendel nowadays unless you teach meiosis. So, if you're saying teaching Mendel also means teach Cell Biology and meiosis, ok, good. I'm on the fence there. I think it's nice if you can really get them to appreciate meiosis in a mechanistic way, because it's elegant and it's simple, but I think again, it's a little bit of a stretch. I teach Genetics to second and third year students, biology majors, who have already seen at least once, usually twice, and they still, it takes a lot for them to fully get it and it's important if are really gonna be a biologist to get it. (00:39:58) But I think for an everyday citizen it's not so critical, what's more critical I think it's just to appreciate, by whatever means happen, you end up getting half genes from your mom and half genes from your dad and one copy of the gene from mom and then from dad and understanding how Mendel figured that out how that plays out to affect phenotype should be differed for when you wanna talk about things like genetic diseases or occasionally a simple trait. (...) (00:46:57) I mean, meiosis explains Mendel, Mendel anticipates meiosis, it's beautiful. You need to understand that meiosis gives you... diversity and takes you from diploid to haploid..., you know, yes, that's great. But, high school students, I don't think they have to really understand meiosis, I don't think they really have to understand even really Punnett square. Well, ok, you can just give some examples... (...). (DE6)

Entretanto, é importante lembrar que, conforme mencionado na seção 2.2.2.1, página 115, esse docente afirma que ensinar leis de Mendel no Ensino Médio não é básico, e que os mecanismos moleculares são mais importantes para o aluno compreender como as características humanas são expressas.

### **2.2.3 Divergências quanto ao ensino de tópicos ligados à Biotecnologia**

Os dados revelaram uma divergência de opiniões quando à inclusão de temas relacionados à Biotecnologia no Ensino de Genética, conforme ilustrado na Tabela 9. A maioria dos entrevistados julga esses conhecimentos como básicos para alunos do Ensino Médio; entretanto, alguns disseram que devem ser apenas abordados se os alunos já tiverem bem consolidados outros conhecimentos básicos. Para esses últimos, esses conteúdos seriam, portanto, conteúdos secundários, não imprescindíveis para alunos desse nível de ensino. Conforme se pode verificar na Tabela 9, os entrevistados que apresentam essa opinião

concentram-se no grupo de docentes entrevistados de São Paulo, representando metade dos componentes desse grupo. Dados qualitativos referentes ao Grupo 1 dos professores de Kalamazoo também mostram a presença de uma opinião diferenciada nesse grupo, como será posteriormente esclarecido nesta seção<sup>24</sup>.

**Tabela 9 - Resumo das opiniões dos docentes e professores de São Paulo (SP) e Kalamazoo (MI) sobre o ensino do conteúdo *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* como básico para alunos do Ensino Médio. Os círculos destacam o grupo de docentes de São Paulo, cuja metade dos entrevistados aponta o ensino desse tópico como secundário, diferenciando da opinião da maioria dos entrevistados, e o Grupo 1 dos professores de Kalamazoo, o qual também se destaca, merecendo um aprofundamento qualitativo de sua situação**

Categoria de conteúdo	Entrevistados de São Paulo						Entrevistados de Kalamazoo																		
	Professores			Docentes			Professores			Docentes															
	Grupo 1		Grupo 2	Genética		Biologia Molecular	Grupo 1		Grupo 2	Genética		Biologia Molecular													
	PB1	PB3	PB4	PB2	PB5	PB6	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	PE1	PE3	PE6	PE2	PE4	PE5	DE1	DE5	PE6	DE2	DE3	DE4	
Aplicações da Genética (Biotecnologia)	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Legenda			
Grupo 1	Proveniente de escolas cujos alunos têm baixo rendimento nos testes	+	Mencionado como básico (sem intervenção)
Grupo 2	Proveniente de escolas cujos alunos têm alto rendimento nos testes	+	Mencionado como básico (com intervenção)
P	Professor	-	Mencionado como secundário (sem intervenção)
D	Docente	-	Mencionado como secundário (com intervenção)
B	Proveniente de São Paulo (SP - Brasil)		Não Mencionado
E	Proveniente de Kalamazoo (MI - EUA)		

<sup>24</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 2, no mesmo contexto, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho em tal exame. Já o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram inferior desempenho no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009. O Grupo de entrevistados 2, no mesmo contexto, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho em tal exame.

A Tabela 10 apresenta uma síntese das principais justificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar os tópicos ligados à Biotecnologia como básicos para serem ensinados. Algumas citações mais ilustrativas dessas justificativas serão aqui mencionadas, enquanto as demais também podem ser encontradas a partir dos APÊNDICE I e APÊNDICE F.

Tabela 10 – Justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo Biotecnologia como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para tópicos ligados à <i>Biotecnologia</i>			ENT	
importância para o cotidiano			PB1	
			PB3	
			DE3	
			DB5	
			PE5	
			PE4	
			DE5	
	lidar com as informações recebidas no cotidiano	tomar decisões como cidadãos por meio de seu voto	compreender como tais aplicações da Genética podem ser benéficas ou prejudiciais	DE4
				DE4
			PB6	
			DE1	
			DB5	
		DE6		
		PB5		
		PB2		
Permite conectar o que é ensinado na escola com o cotidiano do aluno			DB4	
Despertar o interesse do aluno com relação à Genética			DB1	
			PB5	
compreender como o conhecimento científico se constrói			DB5*	
obrigatoriedade do ensino dos conteúdos	importância de se ensinar os conteúdos do(a) proposta currículo(ar) estadual		PB4*	

As justificativas apresentadas por 14 dos entrevistados (58% da amostra) a favor o ensino do referido tópico como básico também apresentam argumentos relacionados à *importância do conteúdo para o cotidiano* dos alunos.

DE3, por exemplo, afirma que, em seu cotidiano, os alunos podem entrar em contato com questões ligadas a transgênicos, células-tronco e clonagem, e por isso é importante eles compreenderem tais tópicos:

(00:00:30) See, I think Biology and Biomedical Sciences are growing very very fast, It's almost like Industrial Revolution that we saw seven hundred years ago. It's just even faster now this kind of revolution in two areas, one is in Biology and another one is in electronics because the technology is moving really really really fast, so fast that the legal and religious systems cannot keep up with it. So I think that it is just therefore important that students have, you know, some of the very basic things that are happening in the high school level. I think transgenic animals is one of them, I think stem cells is another thing. Cloning both at the DNA level and the organism level which will revolutionize this thing. I saw... you know... transgenic animals are another area. So they should know this because I think they are gonna get in contact every day. (00:01:42) Many times they will have trouble looking at it and they won't understand what it is so it is easy to be afraid of and not go there. (...) (DE3).

Para DE5, trabalhar tais aspectos é mais importante do que ensinar a fazer cruzamentos de ervilhas utilizando o quadrado de Punnett, conhecimento que, segundo a docente, é uma boa introdução; entretanto, considera que é importante possibilitar aos alunos a utilização dos conhecimentos aprendidos no mundo real.

(00:14:32) (...) (00:14:32) (...) people think “Uh! Genetically modified! it's going to, you know, be weird, it's going to hurt people or it's going to change my genetic make up if I eat this genetic modified tomato”. And so those are things that can be discussed in the basic, basic Science can be taught at a high school level, that students are sophisticated enough to handle it. Those types of things I find more important than having them doing the genetics problems and multiple Punnett square and tall pea plants crossed by short pea plants what do we get? That's a good introduction but now let's help them take that and use it with a real world application... (DE5).

Sete dos entrevistados, em sua maioria docentes, principalmente de Kalamazoo, consideram que abordar *Biotechnology* é importante para os alunos serem capazes de *lidar com as informações recebidas no cotidiano*.

DE5, por exemplo, considera necessário ao menos realizar uma introdução desse assunto, pois os alunos podem encontrar informações enganosas e tendenciosas na mídia. Segundo essa docente, o ensino secundário pode ser a única oportunidade de os estudantes verem tais conteúdos de forma estruturada:

(00:10:45) I think it's important to teach that, at least an introductory level in High School. If for nothing else, this may be the only time that people hear about these things, and structurally. And if they don't go to college, and they don't take anymore Biology and they are voting citizens... I mean that's what it comes down to, is: what's important for scientific literacy. It is each person that is a citizen in our society, who has to make and form decisions and there's so many places to get information from the media, from movies, from... you know... the newspaper and

many of those venues present misconceptions because they're very slanted towards somebody's view and they may misrepresent the science behind it (DE5).

Não apenas DE5, mas ao total três entrevistados de Kalamazoo apresentam justificativas apoiadas no fato de que os estudantes terão que *tomar decisões como cidadãos por meio de seu voto*.

Para DE5, os estudantes possuem suas próprias concepções sobre Biotecnologia, acompanhadas de vários receios. Considera não ser necessário os alunos terem uma compreensão profunda sobre o tema, mas como eles precisarão tomar decisões, é importante compreenderem o básico de seus tópicos, para fazerem uso desse conhecimento ao realizar suas escolhas no momento das eleições. A docente menciona a votação ocorrida no ano anterior no estado de Michigan a respeito da aprovação do uso de células-tronco embrionárias em pesquisas. Ela comenta que julgou necessário abordar o tema com seus alunos para torná-los preparados, pois participariam das votações e vieram do ensino secundário sem dominar o assunto.

(00:11:49) Nothing in High School is necessarily going to get a full understanding, a sophisticated understanding, but I think it's important that they understand the basics and get introduced to resources for further information that's appropriate and become aware of different sources that can teach, the information that they're getting and appropriate media, those kinds of things. Because these are people who are making decisions about things that they need to have some understanding of. (...) (00:13:16) we've talked about stem cells we've just been a long time talking about stem cells because it was on the voting ballot last year and students in my class voted to either support stem cell research or not and I thought it was important that we had this conversation to see what they knew about this and they really knew nothing about what it was about and then they had heard it on the news and so that really got me thinking about what I would like to see them having in High School because if they didn't come through our classes here what have they learned? So at least have an introduction. (...) (DE5).

Em trocas de *e-mails* posteriores, a entrevistada disse que desconhece outras eleições no Estado de Michigan especificamente relacionadas a aspectos ligados à área da Genética. Entretanto, afirma que, dependendo da administração federal, mais ou menos recursos são destinados para pesquisas na área:

Other than the vote in 2008 about stem cell research, I am not aware of other issues in Michigan that relate to genetics.  
There are often issues that come up on a national level that have to do with funding for science research related to stem cells and gene therapy. As the administrations change nationally, the funding focus changes too (DE5).

DE4, também, não só se preocupa em preparar o cidadão eleitor, mas considera importante abordar conteúdos mais abrangentes da Biotecnologia para os alunos estarem preparados para tomarem decisões se *assumirem um cargo público*:

(00:17:03) If I think about Biotechnology, there is a lot of work now in reproductive technology, especially with mammals, where we have a potential to cloning individuals. And that of course has all kinds of ethical issues swirling around it. And I think that's probably something where, once again, it would be important to engage high school kids on issues (...) (00:17:59) (...) Not ever having thought about how I would engage High School youngsters on that issue, I'm not sure how I might go around it if it was my responsibility, but I don't think I would shy away from it. I would not shy away from it because I thought it was too complicated issues, so much as I think it is something important for people to have - some accurate information about - before they come to society as voters, people in position of public responsibility where they make decisions of things of that sort (00:19:04) I haven't talked about biotechnological issues regarding your question originally. (...) (DE4).

Como mencionado nas seções anteriores<sup>25</sup>, PB2 e PB5 consideram que os conteúdos por eles mencionados como básicos, dentre eles aqueles relacionados com a Biotecnologia, são importantes para o *desenvolvimento de um raciocínio específico*, o qual ajudaria os alunos a compreender as informações recebidas no seu cotidiano. As citações seguintes, além de estarem diretamente conectadas aos conteúdos de Biotecnologia, apresentam indícios do que esses entrevistados querem dizer quando mencionam o desenvolvimento dessa forma de pensar.

Para PB5, o raciocínio estaria relacionado não somente com receber informações, mas também em ser capaz de refletir sobre elas:

Por exemplo, quando eu falo de enzimas de restrição, como é que eu vou explicar isso? (...) Vou entrar em tudo? Ah a sequência palindrômica que reconhece tlict plict... não precisa. [...] Então, eu vou seguir o mesmo raciocínio. (00:19:11) Então, para eles não importa se é palindrômico, se não é palindrômico onde a enzima vai cortar. Importa é que ela vai reconhecer, que ela vai clivar e que ela vai conseguir na verdade... Entendeu? Então, na verdade esse tipo de informação que eu acho que é fundamental, porque isso para mim, na verdade, mais do que a informação em si de eles saberem como faz, eles entendem como que a coisa... Então, por exemplo, eu faço um... “Ah, mas se eu tiver uma outra região igual a essa em algum outro lugar dessa molécula?”, “Ah professora, vai quebrar em um outro ponto”. E aí eu começo a fazer uns problemas para eles: “E aí, o que é mais fácil juntar, três pedaços, dois pedaços ou quatro?” Então, eu vou falando um pouco da técnica, mas sem na

---

<sup>25</sup> Principalmente na seção 2.2.2.1, página 77.

verdade entrar, mas pegando pelo lado da coisa meio do raciocínio. Então, por exemplo, eu sei que eles saem da aula com essa noção de que não adianta pegar qualquer DNA com qualquer DNA, quebrar de qualquer maneira e juntar de qualquer maneira. Não é bem assim que a coisa funciona. A coisa tem que ter um planejamento, então não adianta você pegar, ah, um transgênico, não sei, pode ser perigoso, como assim ser perigoso? Isso não foi feito, assim, sem um planejamento. Então, qual é o planejamento? Você tem que ter? É onde vai quebrar? Como você vai juntar? Agora, preciso falar todos os detalhes? Não. (00:20:23) Aí eu falo: “Tudo bem, criei um DNA recombinante, está aqui, eu emendei um pedaço com outro pedaço que não é original. E daí? Para que me serve isso dentro do tubo de ensaio? Vou ter que colocar isso de novo dentro de uma célula? Como é que eu vou enfiar um negócio dentro da célula. É fácil enfiar um DNA dent/((risos)). Então, mais do que eles saberem o detalhe, eles conseguirem na verdade construir com a técnica, com o entendimento, uma linha de raciocínio. Primeiro eu construo, depois eu ponho no... Quer dizer, para que eu quero fazer isso? Pra fazer isso, como é que eu vou fazer isso?

(00:20:54) E: Então, para você a compreensão da técnica ajudaria eles...

(00:20:59) PB5: O desenvolvimento mental deles...

Na continuação, ela explica que isso poderá, por exemplo, ajudar o aluno a aplicar esse mesmo tipo de raciocínio quando estiver lendo alguma informação e, portanto, fará questionamentos sobre ela:

(00:21:02) É porque só assim ele vai pegar, eu acho, uma reportagem de jornal e falar: “Fulaninho sequencia o DNA do mamute, agora vamos nanana...”, “Calma, mas espera aí! Como é isso? Eu sequencio, mas e depois? Vai ser assim? Vai pegar esse DNA e enfiar lá. Não é assim. Ele na verdade não vai saber do detalhe, não vai saber o nome da enzima, não vai saber qual é a temperatura nem a quantidade de cloreto de magnésio que vai ter que colocar na solução, mas ele vai olhar e falar: “Espera aí! Não é tão simples assim que nem essa reportagem...”. Porque às vezes você pega umas reportagens que dão até calafrio na espinha, mas o cara vai perder o fio da meada e falar: “Meu Deus! O que essa reportagem está dizendo?” (PB5).

Já PB2, após mencionar que os conteúdos escolhidos ajudam os alunos na estruturação de uma forma de pensar compatível com o pensamento da Ciência, apresenta um exemplo para explicar como esse pensamento pode ser útil para o aluno se defender do uso da informação científica. Desse modo, diz que ensina transgênicos para os alunos saberem lidar com argumentos científicos ou não científicos:

(00:24:19) (...) eu tenho um volume só sobre transgênicos, não porque esses alunos vão consumir ou não transgênicos, mas porque eles são um bom exemplo de como lidar com argumentos científicos ou não científicos. E como eu acho que entender a argumentação científica ou não científica é importante para o cidadão comum, aí eu vou lá e uso transgênicos. Não porque o conteúdo em si é relevante para o cidadão, mas ele é um bom caminho para isso (PB2).

Quatro entrevistados, em sua maioria de Kalamazoo, afirmam ser importante ensinar Biotecnologia para os alunos compreenderem *como tais aplicações da Genética podem ser benéficas ou prejudiciais*.

DB5, por exemplo, diz ser necessário os estudantes conhecerem como a aplicação das tecnologias relacionadas à Genética pode impactar em seu cotidiano:

(00:33:00) Em cima disso, questões éticas relacionadas a, por exemplo, transgênicos. Eu não colocaria nem questões éticas né... implicações sociais dos transgênicos. (...) Isso aí precisaria ser bastante discutido até para o pessoal começar a ter uma ideia do impacto dessas metodologias no cotidiano das pessoas. (...) (DB5).

Outro exemplo é PE4, para a qual fica difícil optar por um tópico ou outro correlacionado à Biotecnologia. Considera importante ensinar todos, pois podem gerar impacto à vida das pessoas:

(00:05:06) So the major issues that are coming up or the major things in Biotechnology I'm not probably honest as well as I should I need to spend more time giving them that. I think that you can't really say one is more important than another because they're all going to impact us in some way and I want them to have a basic knowledge of what all of these different things are or at least be up to strap the knowledge I give them to apply it in other areas. (...) (PE4).

Cita, por exemplo, que a clonagem pode trazer consequências para a diversidade de organismos, que podem perder a capacidade de resistir a certas bactérias e vírus:

(00:05:35) It's, you know, I mean they think that cloning isn't important if the kids understand that if they start cloning the best cows and the best pears, the best... you know... potatoes, and the best corn that's gonna bring down our diversity and then things aren't gonna be as resistant to, you know, new trends of bacterias and viruses and that we (can just totally know about that) huge population's species because we're deciding what should exist (PE4).

Ademais, PE4 diz que, com a evolução da aplicação da Genética, os alunos podem chegar ao ponto de terem que decidir se optam ou não por escolher as características dos próprios filhos; portanto, é importante eles saberem os prós e os contras envolvidos nessa possibilidade:

(00:03:51) E: So do you think that Biotechnology is important? You said about cloning...  
(00:04:00) PE4: I think it's very important. (...) I think as they learn more and more about DNA and being able to determine traits for people, I think we're headed to the

point on that doctors could build your baby, I mean they could say “You want a blond hair, blue eyes, black skin and...” you know...and make that. And I think they need to understand the pros of that and the cons of that because we need diversity we can’t all decide what do we wanna have and so I think that they need to realize that even when we may get that technology is it really simply (new what we) want to implement.

Enquanto os entrevistados anteriormente mencionados consideram os conteúdos relacionados à Biotecnologia como importantes para o cotidiano dos alunos, DB4 diz que esses tópicos, ao estarem presentes no dia-a-dia do aluno, permitem *uma conexão entre o que é ensinado na escola e o cotidiano do estudante*:

(...) (00:04:41) Então, a primeira e fundamental questão, o norte que eu penso que tem que estar guiando uma reflexão sobre o que trabalhar no Ensino Médio é a questão de vincular os conteúdos com a vida cotidiana e com a prática que os alunos possuem, porque a gente sabe que eles ficam muito pouco motivados por um ensino de conceitos, de conteúdos que não têm relação com, que eles não conseguem visualizar em relação com sua vida prática. (...) (DB4).

Dois entrevistados brasileiros, DB1 e PB5, apresentam argumentos relacionados *ao interesse que tais conteúdos podem despertar no aluno*.

De acordo com DB1, estando os conhecimentos relacionados à Biotecnologia presentes na mídia, ao serem abordados na escola, eles podem promover o interesse dos alunos com relação à Genética:

(00:08:32) E: O que seria importante. Que tópicos?

(00:08:35) DB1: É. Você tem aí coisas que estão na mídia falando de células-tronco, de alguma forma você poderia abordar, transgênico... Eu acho que são assuntos que estão na mídia que chamam a atenção, que a pessoa..., genoma, enfim, que podem motivar o aluno para estudar né (...).

Para PB5, seus alunos se interessam muito por tecnologia, e estão inclusive estudando em uma escola técnica. Portanto, ao ensinar Biotecnologia, acredita que o interesse dos alunos pela Genética pode ser fomentado pelo fato de os conteúdos relacionados à aplicação da Genética estarem ligados à tecnologia.

(00:43:40) (...) Aqui o pessoal faz eletrônica, mecânica. Então, foi como eu estava te falando, não é... (00:44:28) Mas aí quando você começa a, por exemplo, misturar tecnologia, por isso que eu te falei, que eu acho que as técnicas são legais. Eles começam de alguma forma a juntar tipo, por exemplo, um sequenciador automático é um aparelho, um aparelho! Que trabalha para mim na Genética, me dá uma sequência de nucleotídeos, mas então eles... Eu acho que isso aproxima. Entendeu? Então, por exemplo, falar de uma eletroforese, falar de campo elétrico, e não sei que, e aí tem a fonte e a voltagem, isso de certa forma pode parecer a coisa mais estranha

do mundo falar isso, mas quando a gente começa a falar de assuntos de que de alguma forma aproximam aquele tema que é Genética com mais ou menos as áreas de interesse, você percebe que eles dão uma: Putz! Mas então... (00:45:15). (...) “Ah!” Então, por isso que eu acho que é uma linguagem, a linguagem das técnicas, e aí no nosso caso é Genética, podia ser qualquer outra, é uma linguagem mais próxima da idade dos alunos. A gente meio... Eu acho que há muito professor que subestima os alunos porque acha que vai ter que dar o detalhe da técnica e na verdade não consegue puxar a técnica para o que ela pode...entendeu? Aproximar o aluno para o tema em si (PB5).

Outras justificativas apresentadas pelos entrevistados são gerais, ou seja, comuns aos demais conteúdos abordados nas seções anteriores (2.2.2.1 e 2.2.2.2)<sup>26</sup> e, portanto, não serão aqui novamente exemplificadas. São elas a relacionada à importância de tais tópicos para os alunos *compreenderem como o conhecimento é construído*, expressa por DB5, e aquela relacionada à *obrigatoriedade do ensino dos conteúdos*, apresentada por PB4.

Em síntese, a partir das justificativas apresentadas com relação à importância do ensino de Biotecnologia, podem-se realizar alguns destaques. A maioria dos entrevistados a favor de seu ensino considera que se trata de um tópico importante para o cotidiano dos alunos. Tal resposta está presente em diferentes grupos, principalmente dentre os professores entrevistados brasileiros, os professores do Grupo 2<sup>27</sup> de Kalamazoo e os docentes também desse último contexto. Além dessa, aparecem também outras justificativas. Vale destacar aquelas mencionadas por poucos entrevistados, mas que incidiram principalmente dentro de grupos específicos, tais como as que se concentram entre os entrevistados de Kalamazoo, sobre a importância da Biotecnologia para o aluno compreender como tais aplicações da Genética podem ser benéficas ou prejudiciais, e a importância do conhecimento desse tópico para os alunos serem capazes de tomar decisões como cidadãos por meio de seu voto. Identificaram-se também algumas justificativas relacionadas à importância do conteúdo para

---

<sup>26</sup> Páginas 78 e 83.

<sup>27</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 2, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 2, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

despertar o interesse dos alunos, mencionadas por entrevistados brasileiros, ou ainda, para desenvolver o raciocínio deles, mencionadas por professores do Grupo 2 dessa localidade.

Entretanto, apesar de considerarem o ensino dessas novas aplicações da Genética como básico para a formação de alunos no ensino secundário, vários entrevistados demonstram que existe limitação sobre o quanto tais conteúdos podem ser explorados na escola. Para eles, apesar da importância do conteúdo, nesse nível de ensino não é possível aprofundar muito. Isso pode ser evidenciado nas entrevistas de nove entrevistados<sup>28</sup>. Porém, as gradações de aprofundamento referidas podem se diferenciar de um para outro.

PB3 e PB4 afirmam ser melhor apenas abordar amplamente os tópicos, sem abordar as técnicas. A citação abaixo, por exemplo, ilustra a opinião de PB4:

(00:07:40) E: (...) você fala de transgênicos, de clonagem... dá para abranger as técnicas que estão envolvidas nisso, ou falar o superficial?

(00:07:59) PB4: Apenas o geral, mesmo. A informação, né? (...)

(00:08:22) PB4: (...) Mas informação que eu digo, é a mais recente de tecnologia mesmo, uma pincelada. Não dá para dar assim uma coisa muito científica, e envolve o interesse do aluno, também, nisto aqui. Muitos alunos não se interessam, né?

Também segundo PE2, para os alunos do nono ano, aprender as técnicas é complicado e eles não estão muito interessados; portanto, para eles é melhor abordar apenas quais são as suas aplicações, sem necessariamente abordar como elas funcionam. Mas alunos mais velhos, que fazem disciplinas eletivas específicas para aprofundar seus conhecimentos de Ciências, já possuem mais facilidade. Julga até ser possível fazer com eles alguns experimentos simples, apesar de outros mais complexos não serem viáveis devido ao alto custo dos materiais:

(00:12:33) E: So you think it's important to have a notion of it but not to know the techniques, is it?

(00:12:40) PE2: Interesting... Yes. Essentially for the ninth grades I think they need to understand how we are using Genetic Engineering, what we are using it for, but the technique, they aren't quite ready to grasp it, they are fourteen-year-old, I don't think they can really visualize conceptually how you have the transgenic factors, how all that stuff works. (00:12:40) (...) I don't think that they are quite there but advanced students, the eighteen-year-olds, they now (may wanna) learn it but they are interested in on line. (...) the on line simulations for some of the techniques are amazing and they really enjoy learning about how we do it because the process is becoming more and more simple. We do strawberry DNA extraction. (00:13:29) You can do it almost with the dishes. So you can do amazing things with them know. So, the older they are I think the more able they are to grasp the social

---

<sup>28</sup> PB3, PB4, PB5, PE2, DB1, DE3, DE2, DE4 e DE5.

consequences of our understanding of DNA. The younger ones, they are still worried about what's for dinner, they are not quite at that point that they can totally grasp the importance of gene.

(...)

(00:14:20) PE2: (...) I just don't know, we just really don't have the time in the school year to have them do most of the actual hands-on (upper level Genetics), we don't have the finances because some of those labs are incredibly expensive to run for the ninth grades. But they getting it and they will, hopefully, when they take advanced courses, get even more, and be able to dive deeper.

Já para DE2, ensinar Biotecnologia é importante, mas é necessário tomar cuidado para esse processo não se tornar o ensino da tecnologia pela tecnologia. A tecnologia seria apenas um meio para um fim; portanto, é importante dirigir a atenção para as questões que ela está tentando resolver:

(00:04:17) E: What about Biotechnology, do you think it's important to them to learn it at High School? Because we always have a new knowledge in Genetics, a new application. Is it important to them to know about Biotechnology? And if so, what is important?

(00:04:56) DE2: Yes, I think it is important but a lot of classes that teach the technology and even in my own lab we talk about technology and for it we were focusing on the technology as opposed to answering the question that you are trying to solve with the technology and I think too much attention is paid to the technology instead of talking about the real questions that are going to be solved with the technology. That's just a means to the end, it is not about the technology. Now I understand that technology sometimes interest students that only way that they really keep them engaged and I'm not about using that for that reason. (00:05:38) But I think we lose at the same time, some of that we were trying to get to know.

DE3 também critica o ensino da tecnologia em si. Ele considera que países não detentores do conhecimento em tecnologia acabam sendo prejudicados em seu desenvolvimento; porém, para os alunos da *High School*, o enfoque deve ser nos conceitos básicos sobre Biotecnologia e, desse modo, quando o aluno se deparar depois com a tecnologia, poderá ter mais elementos para compreendê-la:

(00:06:29) (...) if you don't keep up with the new things you don't survive.

(00:07:20) The best example is ... in the US and some of the western of the countries, some of the Eastern and African countries where people can't keep up with their technology, you see how behind they are and here we keep up with that don't matter how young or how old we are that something comes up... you know, you have to keep up with technology. But learning technology at the high school level, I don't think that's important. They should have the basic concepts. So as the technology comes they can absorb it and understand it (DE3).

Já DB1 apenas diz não ser possível entrar em muito detalhamento:

(00:08:04) E: (...) Com relação à Biotecnologia, o que está sendo descoberto agora, seria conveniente abordar no Ensino Médio?

(00:08:18) DB1: Eu acho que alguns tópicos é interessante (...) Eu acho que você não pode entrar em muito detalhamento (...).

Um abordagem mais ampla também é defendida por DE4 e DE5:

(00:16:07) I think we might talk about the issues broadly but the details about how that engineering is accomplished would be way too sophisticated for high school students. (...) (DE4).

(00:19:42) (...) to understand that technology exists, I don't even care if they know how it works but just appreciating where we are and they can follow that up (DE5).

Entretanto, há PB6, que considera que, mesmo com o aluno tendo dificuldade de entender as técnicas, as quais só aprenderá em um laboratório dentro da Universidade, é importante abordá-las:

00:27:40) PB6: Primeiro a gente não pode subestimar o aluno. (...) (00:28:19) (...) Agora, de novo eu insisto, a tecnologia, como é feito isso, ele vai aprender em nível universitário. Porque só as faculdades, em boas faculdades, não são todas, têm laboratório para que eles possam aprender a trabalhar com isso. Mas isso pode estimular ele a se orientar para uma área da saúde, por exemplo. Sabe, essas coisas são estimulantes para os alunos.

(00:30:10) E: Então, deixe-me ver se eu entendi, o senhor acha que na verdade ele vai acabar aprendendo mais no Ensino Superior, a técnica ...

(00:30:19) PB6: Sim. A técnica no Ensino Superior.

(00:30:21) E: ...mas o senhor acha importante também abordá-la no Ensino Médio?

(00:30:26) PB6: Sim. Sem dúvida, sem dúvida.

(...)

(00:30:42) (...) não pode deixar de dar as informações para os alunos. Porque eles estão na escola para aprender. Se eles não aprendem na escola, eles vão aprender aonde? E de que modo vão aprender? Não é?

(...)

(00:33:21) PB6: (...) Tem que ensinar, porque o aluno pode não ter outra oportunidade na vida. Então, aquela oportunidade tem que ser aproveitada. Mesmo você olhando para a sala e às vezes você vê alunos que estão em outro mundo, né? Mas eu acho que existem aqueles que estão acompanhando o que você fala.

Por fim há ainda a opinião de PB5, que acredita não ser preciso entrar nos detalhes, mas elementos essenciais das técnicas precisam ser abordados, como visto nas citações anteriores, página 145.

Entretanto, conforme comentado no início desta seção, alguns entrevistados, principalmente os docentes de São Paulo, consideram que ensinar sobre aplicações da Genética (Biotecnologia) para os estudantes é secundário. Em sua opinião, apesar da importância do conteúdo, há outros mais básicos e, portanto, deve ser ensinado apenas se os

alunos compreenderem bem esses tópicos mais elementares. Essa posição está bem forte na opinião de três docentes de São Paulo: DB2, DB3 e DB6.

Para DB2, os conteúdos de Biotecnologia só devem ser tratados se os alunos compreendem o básico, como, por exemplo, o conceito de gene e sua função:

(00:05:26) (...) Se ele não souber isso, não adianta ele ler sobre seja lá o que for da modernidade aí da Genética sobre células-tronco, sobre terapia, sobre terapia gênica, ou seja, o conceito de gene precisa estar muito claro também na cabeça dele... O que é o gene, aonde está o gene, qual é a função do gene...para que que ele serve. Né? Agora na hora que ele souber isso aí ele vai entender se eu pegar um gene de um organismo e transferir este gene para um outro organismo o que isso significa e que implicação isso pode ter, né? Ou seja, se eu disser para o aluno, “Ah, eu pego um gene de uma espécie e ponho em outra espécie para fazer um transgênico” e ele não sabe o que é gene fica tudo...né?...fica incompreensível. E se incompreensível, ele não vai poder julgar se ele acha aquele procedimento correto ou não correto, ou as implicações que aquele procedimento possa vir a ter, né? (DB2).

Outros tópicos mais básicos também são mencionados por DB2 na citação apresentada na seção 2.2.2.1, página 110. Como é possível observar, para DB2, o aluno carece de maturidade para aprender tópicos ligados à Biotecnologia, e o pouco tempo para eles compreenderem os demais conteúdos básicos, os quais são pré-requisitos, e mais esses tópicos ligados à aplicação da Genética, pode não resultar no aprendizado desejável. O aluno desenvolveria uma falsa impressão de que os domina e criaria uma resistência em aprofundar o seu conhecimento sobre eles posteriormente.

(00:08:14) (...) Eu nem acho que o aluno do Ensino Médio precisa saber essas modernidades aí de... é... (00:10:01) (...) Não significa necessariamente que todas essas coisas novas precisam ser dadas no Ensino Médio. Eu acho que o aluno ainda não tem maturidade para entender isso na sua plenitude. E aí tem um outro problema, tudo que ele escuta, de uma maneira rápida, de uma maneira não compreensível, de uma maneira, assim, vamos dizer burocrática, porque vai cair no vestibular, por exemplo, ele acha de alguma maneira que sabe. Ele fica até meio resistente a aprender isso de uma maneira mais profunda e mais correta. Eu vejo isso pelos próprios alunos de Biologia que chegam aqui. (...) (DB2).

Portanto, sendo os estudantes submetidos a apenas duas aulas de Biologia por semana, a docente considera que a escola deve se centrar nesses conteúdos mais elementares, em vez de trabalhar com os conteúdos relacionados às biotecnologias, pois seria difícil dar tempo para tudo:

(...) (00: 11:39) (...) eu acho que tem aí um limite tênue entre, ah não isso aqui é importante o aluno já ter ouvido falar, até que ponto isso é benéfico ou não para o

aprendizado dele. Eu acho que, na minha opinião, o Ensino Médio deveria se preocupar em deixar essa base muito bem fundamentada em qualquer aluno. Certo? (...)

(00:19:56) (...) Eu vou fazer terapia celular, primeiro eu preciso entender o que é terapia celular, para depois eu entrar no problema ético que possa vir como consequência daquele emprego. Eu acho que isso...é...você passar por todos esses passos para que ele tenha significado requer um tempo que eu acho que não existe. Porque são duas aulas por semana, só. Daí eu achar que o básico é simplesmente o básico ((risos)). Aquele mais clássico, está certo? (DB2).

Opinião similar é apresentada por DB6, segundo a qual tais tópicos podem até ser ensinados, mas somente se o interesse partir do aluno ou no momento que ele já tenha conhecimentos prévios suficientes para isso. Menciona não adianta fazer discussões sobre a ética envolvendo tais assuntos se os alunos não possuem outros conhecimentos elementares que possibilitam entendê-los.

(00:18:12) E: O pessoal fala muito que é importante ensinar transgênicos, Projeto Genoma, sobre temas atuais envolvendo Biotecnologia. O que a senhora acha a respeito disso? Porque eu encontrei opiniões diversas a respeito da inclusão ou não desses tópicos.

(00:18:45) DB6: Eu vou ser muito honesta. Infelizmente eu acho que é um grupo seleto muito pequeno de estudantes do Ensino Médio para os quais a gente de fato daria conta de explicar como se constrói um transgênico, como se faz um Projeto Genoma Humano. Seriam poucos alunos que eu acho, infelizmente uma população um pouco elitizada teria condições de fato de compreender com clareza todas essas coisas. Essas coisas são difíceis para um aluno, se ele não entendeu o código genético, se ele não entender como que o DNA se duplica, se ele não entender como é que o DNA transcreve o RNA mensageiro, vai ser difícil ele compreender, qual a importância de um sequenciamento do genoma, como é que você vai construir um transgênico... colocar um gene externo num vetor com plasmídeo colocar isso em outra célula. Isso não é trivial se o aluno não tiver entendido muito bem esses aspectos básicos que eu estou colocando. (00:19:43) Código genético, transcrição, tradução... tudo isso o aluno tem que ter uma visão muito clara para conseguir chegar nesse passo de entender o que que é um Projeto Genoma, o que que é um transgênico. Então, eu acho que deve ser introduzido desde que o professor perceba que esse enxoval básico é dominado. Ele pode oferecer, não vejo por que não. Eu acho que se o aluno está ávido em saber eu acho que a gente tem que dar, mas não adianta ficar discutindo... como que eu posso dizer... ficar reproduzindo discursos xiitas de telejornal sobre transgênicos se o aluno sequer tem capacidade de entender como é que um transgênico é construído.

A docente questiona inclusive se os professores estão aptos para trabalhar com esses temas:

00:29:48) (...) Você vê jogos de palavras terríveis na imprensa para manipular a opinião pública, entendeu? Aí vai chegar lá um aluninho do Ensino Médio “Professora, é verdade que célula-tronco dá câncer?” Será que o professor está apto para responder isso? É duro, né? O nosso mundo é muito duro. O professor tem que estar muito ligado (00:30:49) para falar dessas coisas (DB6).

Do mesmo modo, DB2 comenta que, ao trabalhar com capacitação continuada de professores, percebe as dificuldades que apresentam para compreender os conceitos que julga básicos, como noções de gene e de herança. Desse modo, assim como os alunos, eles teriam também dificuldade de compreender as novas tecnologias para poder explicá-las:

(00:14:32) (...) tenho a oportunidade de trabalhar assim com professores de Ensino Médio que vêm fazer curso de atualização aqui e a gente percebe que esses conceitos nos professores não estão sedimentados. Esta base que eu estou falando para você que é importante. Então, realmente eles ficam meio perdidos quando eles leem notícias da mídia, porque estão partindo do quê para ler aquela notícia, né? É uma coisa complicada (DB2).

Outra preocupação apresentada por DB3 é que o conhecimento de Genética está se expandindo cada vez mais, tornando-se difícil abranger todo o conteúdo na sala de aula. Essa docente afirma que é impossível ensinar todas as novidades. Segundo a entrevistada, o que é novo hoje pode não ser novo amanhã, e inevitavelmente o estudante se deparará no seu futuro com novos conhecimentos relacionados à aplicação da Genética. Portanto, considera, assim como DB2 e DB6, que a melhor opção é sedimentar bem o básico, pois a partir disso o aluno terá capacidade para compreender outros assuntos abordados pela mídia:

(00:04:45) (...) houve uma explosão de informação a partir de 70, 80 para cá, né? Então, tanto em Genética como em Genética Molecular uma grande explosão de informação de fácil acesso, né?, tanto na mídia popular como na especializada se tornou praticamente impossível você abordar os temas atuais, porque é uma quantidade muito grande. Então, nesse momento a Genética ((provavelmente se refere aos docentes responsáveis pela disciplina Genética)) optou por, o que vamos fazer, vamos continuar tentando dar conteúdo, informação atualizada, ou vamos dar o básico? O que significava o básico nesse momento? Significava ele ter muito firme, muito claro para ele, o que é Genética, o que é hereditário, o que é genótipo, o que é fenótipo, né? E com esse conteúdo básico ele seria capaz de entender essas várias informações genéticas de mídias diversas e interpretar... porque já era impossível você falar sobre todas as informações genéticas neste momento. (...) Então, é através dos conceitos básicos de Genética, a gente tenta transmitir o que é fazer Ciência, o que é ter uma pergunta e tentar respondê-la. Então, para nós isso era a essência, é a essência, né? Pela metodologia científica, no caso na área de Genética. Então, para isso a gente tem que dar conceitos bem sólidos, básicos, que consideramos básicos (...). (00:16:00) (...) Mesmo isso que se fala: “Bom, vou perguntar para eles se é ético, se não é ético, fazer uma terapia gênica nas células germinativas”. Será que ele vai precisar saber tudo como é uma terapia gênica, ou ele vai entender o necessário, para poder julgar isso, né? Você está me perguntando como criar um cidadão ético, crítico, né? Será que precisa realmente? Hoje a moda é célula-tronco, ontem era fazer transgênico, se você for perseguir isso dessa forma, você nunca vai estar em dia com a coisa né? (...) (DB3).

A opinião dessas docentes está apoiada no fato de que seus alunos estão vindo para a universidade sem dominar os assuntos relacionados à Biotecnologia e, mais gravemente, sem conhecer os demais conteúdos básicos, pré-requisitos para eles compreenderem tais tópicos relacionados às aplicações da Genética. Cabe observar que elas dão aula para um grupo seletivo de alunos, os quais passaram por um dos vestibulares mais concorridos do país para cursar sua graduação em Ciências Biológicas:

(00:13:35) E: (...) A senhora me falou o que vocês consideram fundamental aqui para o curso de Biologia, para os alunos de Biologia, e essa parte também se estenderia ao que a senhora considera importante para os alunos que estão saindo do Ensino Médio. Seria isso?

(00:13:20) DB3: Eu acho que sim. Se eles viessem com isso bem amarrado, eu acho que a gente podia partir para uma outra etapa aqui na graduação. Mas como eles vêm com esses conceitos absolutamente dispersos, perdidos dentro de um contexto de informação genética acaba você continuando a ressaltar importância desse conceito, você entende? De um outro ponto de vista, uma outra abordagem. Mas, de fato, eu considero que isso é fundamental, se eles saíssem com isso bem feito do Ensino Médio seria perfeito para nós.

Até mesmo DB5, que julga básico o ensino da Biotecnologia no ensino secundário, vê seus alunos chegando com tais dificuldades em suas aulas no Ensino Superior. Eles confundem, por exemplo, a dupla fita de uma molécula de DNA com os dois cromossomos homólogos de um indivíduo diploide:

(00:40:01) (...) Então, aí esses conceitos de Biologia Molecular precisam de alguma maneira se entrelaçar e que tudo fique muito claro em relação à Genética, pensando em cromossomos: conceito “cromossomo”, conceito “organismos haploide”, conceito “organismo diploide”. Os alunos não podem ficar com essas dúvidas: “Bom, mas espera aí, é uma dupla hélice... mas aí no cromossomo como é que...mas espera aí é uma cadeia só em um cromossomo e aí a complementar está no cromossomo homólogo?” Precisa (00:41:00) trabalhar isso bem. Porque essa confusão chega aqui na faculdade. Não chega a 100% dos alunos, mas você vê gente que faz a confusão (DB5).

Não apenas os docentes de São Paulo, mas também os docentes de Kalamazoo também apontam que os alunos estão com dificuldades de compreender o básico. DE2 desejaria ver seus alunos chegando a suas aulas na universidade já entendendo o que é um gene. Eles até apresentam uma noção sobre do que se trata, mas falta mais conhecimento. Para ele, os alunos vêm mais preparados com a Genética Clássica, porém carentes de conhecimentos quanto à Genética Molecular.

(...) (00:00:40) guess for me what they need to know, or maybe I'd rather say, what I don't see them getting and I would like to see them come to me already with is a better understanding of what a gene is. They have this feeling... a piece of DNA, this DNA is important, it makes protein but that's a used to be about the limit of what they understand. Most of my class, they need to have a better understanding of what a gene is. (...) (00:01:37) (...) They seem to have a good understanding of Genetics, they know about Mendel, they know about Punnett square, they have done those types of crosses, but they haven't made the leap from... Mendel was what? 16<sup>th</sup> century or something like that, to now, we do know about, it has gotten back to High School a lot more focus on the DNA side of things as opposed to phenotype and genotype and heredity, I guess that's what I'm trying to say; sort of Mendelian Genetics versus "modern-day" Genetics. (00:03:07) I think they have to understand both but it seems like there is a focus on Mendelian's side of things and the loss of other pieces that are just as critical (DE2).

DE4 diz que, quando seus alunos chegam à universidade, é necessário retomar vários conceitos, como a distinção entre linhagem germinativa e linhagem somática, pois apesar de eles já virem com vários conhecimentos na área, eles também chegam na universidade com várias concepções errôneas:

(00:03:42) And then understanding that the germ-line will (turn the cells into) animals, and those cells (decide) earlier and that information in those cell (formed will pass to offspring), and then things that happen in the body that are not inheritable. So, I don't know, that's sort of my thought about what they need to know. Certainly when they come to the university we basically start square along with them, I don't think we can assume any knowledge, some come with reasonable amount of knowledge about Genetics but I think a lot come with misconceptions too (DE4).

DE5 também fala que seus alunos vão ao Ensino Superior com várias concepções errôneas sobre Citologia e sobre DNA:

(00:11:49) (...) In the class that I teach here most of the students haven't had any Biology since they were in High School and now these are, you know, eighteen, twenty, twenty-one year-old people and they still have a lot of misconceptions, even about what a cell is, where cells are, about DNA... (DE5).

Não só os docentes, mas também os professores apontam que os alunos possuem dificuldades de compreender o ensinado.

PB6 diz que os alunos conseguem compreender bem o que é um transgênico, mas têm dificuldade de compreender como é feito. Conforme já mencionado, acredita que isso se dê devido a não ser possível levar o aluno para o laboratório e fazê-lo vivenciar tais procedimentos:

(00:03:27) Agora quando você começa a entrar em coisas mais modernas como por exemplo transgênicos, eles aceitam a ideia de transgênicos, alguns ainda são relutantes, mas isso ainda já faz parte de um certo passado. Eles aceitam a ideia. Eles entendem o que é um transgênico. Quando você diz que um transgênico é um organismo que contém genes de outras espécies, tudo bem. Só que o como...isso é difícil para eles. (...) Mas, no momento do como é que fica difícil, já pensou em falar em enzimas de restrição para eles? Como vai falar em enzimas de restrição, que existem dezenas de tipos diferentes, que são produzidos por bactérias. Para começar bactérias para eles é uma coisa... é um negócio que causa doenças (...). A parte mais moderna passa digamos a anos-luz de distância deles, porque eles não têm vivência com o laboratório (PB6).

Além da menção acima realizada no início da entrevista, PB6 ainda reforça sua ideia ao ser questionado se julga importante ensinar conteúdos relacionados à Biotecnologia:

(00:24:14) (...) Ele entende quando eu falo para ele que existe o milho Bt. O milho Bt tem o gene de uma bactéria para produzir uma toxina que é só tóxica para as lagartas. Ele entende tudo isso, não tenha dúvida. Agora, se ele me perguntar como é que faz para pegar um gene e botar no milho. Isso é mais difícil dele entender, em virtude de não ter um laboratório (...) (PB6).

Esse professor, ao lecionar em uma escola particular, mais conhecida pelo cursinho que possui para preparar o aluno para o vestibular, diz conseguir abordar tanto Biotecnologia como outros conteúdos também considerados básicos. Mas não garante que isso seja possível em todas as escolas. Entretanto, apesar de julgar que tais tópicos devem ser ensinados independentemente da dificuldade dos alunos, não sabe se eles saem do Ensino Médio sabendo tudo.

00:27:18) E: Na prática do senhor, mesmo ele tendo mais dificuldade ele sai do Ensino Médio sabendo isso, ou então ele sai com alguma noção, mas ainda confuso, assim, como que ele sai do Ensino Médio? Não sei se vocês conseguem abranger tudo isso. Se é possível...

(00:27:40) PB6: Nós conseguimos abranger tudo isso. Agora é difícil, eu não saberia dizer para você como o aluno sai. Vai depender muito da escola, da política da escola, da política de ensino, vai depender do próprio professor que está ensinando as coisas para ele.

Como pode ser verificado em citação anterior, página 150, PE2 também menciona que os alunos no início da *High School* têm dificuldades de entender as técnicas e demonstram-se desinteressados por elas, apesar de isso ser diferente com alunos do final desse nível de ensino que cursam disciplinas eletivas na área de Ciências.

PB4 ainda aponta que assuntos relacionados à Biotecnologia não despertam muito o interesse de seus alunos:

(00:08:22) PB4: (...) Mas informação que eu digo, é a mais recente de tecnologia mesmo, uma pincelada. Não dá para dar assim uma coisa muito científica, e envolve o interesse do aluno, também, nisto aqui. Muitos alunos não se interessam, né?  
 (00:08:56) E: Eles não se interessam por esses assuntos novos?  
 (00:08:58) PB4: É você comenta e o cara não retorna um interesse legal. São poucos alunos interessados. Eu não sei se é nessa região. Mas talvez seja pelo nível de informação.

Porém, como verificado na citação da página 150, PB5 considera que seus alunos são interessados em Biotecnologia, especificamente nas técnicas. Entretanto, é preciso considerar que esses alunos são alunos de uma escola técnica, o que pode evidenciar um perfil diferente dos alunos de PE2 e PB4.

Além das posições de docentes de São Paulo, que diferem da maioria dos entrevistados sobre a prioridade de se ensinar Biotecnologia, há as respostas do Grupo 1 de professores de Kalamazoo<sup>29</sup>, que também merecem ser olhadas de maneira mais qualitativa.

Como se pode ver, PE6 apontou tais conteúdos como secundários. Porém, ao analisar o contexto, pode-se perceber uma intensidade diferenciada na sua resposta com relação à dos docentes de São Paulo. Após mencionar os conteúdos que julgava básicos e não ter mencionado aqueles relacionados à Biotecnologia, esse entrevistado foi questionado sobre sua opinião sobre o ensino do tópico. Ao questioná-lo, apresentaram-se as opiniões dos demais entrevistados, com as quais ele concordou. Disse julgar tais conteúdos importantes, mas que eles só deveriam ser abordados após os alunos já compreendem outros mais básicos:

(00:14:42) E: These teachers that told me they disagree on it, they told me that students have difficulties to understand Genetics so it's better to stay in the basic contents about Mendel laws, about basic things about Genetics than go to Biotechnology, students will be confused and won't learn anything because it's so much content. What do you think about this opinion?  
 (00:15:34) PE6: I like that opinion, I like the idea in just staying with the basic. The basic is fundamental, the basic is the foundation (...). And so I do agree with that

---

<sup>29</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

thinking. But then again there are different students and depending on the type of students that you have, if you have students that really... If as a teacher you believe they're prepared to learn a little bit about the Biotechnology than I believe as a teacher you should take them there. But the most important that should be covered it's just the basics on Genetics.

PE3, por sua vez, não expressou diretamente uma opinião sobre o ensino de Biotecnologia em geral. Porém, além de tópicos dessa área não aparecerem dentre os conteúdos por ela considerados básicos, a entrevistada ainda diz que um dos tópicos do currículo de Michigan que ela reluta em abordar é a tecnologia do DNA recombinante. Para essa professora, esse é um tópico apenas recomendado pelo documento e, em sua opinião, o conteúdo é demasiado para o estudante:

(00:06:30) (...) The only thing that I struggle teaching my students particularly to speak as a segment like recombinant DNA technology and how scientists analyze the structure and the functions of DNA, I get more into that and I start going into the theory and it is just recommended, and there are not actually like a (sense) on you have to do them. It's just completely over their head (...) (PE3).

Ao analisar a entrevista de PE1, percebeu-se que a professora não menciona diretamente a Biotecnologia. A única referência com relação às aplicações da Genética proveniente de sua entrevista está no tópico *como o cariótipo pode ser utilizado para a identificação de anomalias genéticas*, presente na lista de conteúdos do currículo do distrito de Kalamazoo que ela julga básico ensinar, o qual, por sua vez, está baseado no currículo do Estado de Michigan.

Portanto, pode-se perceber que os professores do Grupo 1 de Kalamazoo, apesar de não explicitarem com tanta ênfase como os docentes de São Paulo sua posição secundária com relação aos conteúdos referentes à Biotecnologia, certamente não colocam tais conteúdos como básicos do mesmo modo como fazem os demais entrevistados.

Nota-se, assim, que, por um lado, há fortes argumentos positivos, mencionados pela maioria dos entrevistados, com relação à necessidade de ensinar tais tópicos no Ensino Médio, principalmente relacionadas à sua importância para o cotidiano dos alunos. Esses argumentos, porém, apresentam diferentes gradações sobre o quanto esses conteúdos poderiam ser explorados. Entretanto, por outro lado, há outros entrevistados, em especial metade dos docentes entrevistados de São Paulo e os professores do Grupo 1 de Kalamazoo, que consideram tais conteúdos como não prioritários para os alunos do Ensino Médio. Apesar de reconhecerem a importância de tais tópicos, esses docentes alegam que, quando os

professores tentam ensiná-los, acabam trabalhando superficialmente com outros pré-requisitos mais básicos para sua compreensão, deixando o aluno sem realmente aprender tanto tais conteúdos mais elementares da Genética como aqueles mais modernos e em constante expansão.

### 2.3 DISCUSSÃO

Nesta seção, procurar-se-á discutir os dados verificando se os conteúdos mencionados como básicos pelos entrevistados são os mesmos apontados pela literatura e pelos currículos para o ensino adotados nos dois contextos de pesquisa e contemplados pelas universidades envolvidas nesta pesquisa na formação dos professores de Biologia.

Ao observar os resultados desta pesquisa, pode-se notar que determinadas posições dos entrevistados aproximam-se em alguns momentos e distanciam-se em outros do que os autores defendem na literatura.

Assim como Ayuso e Banet (2002), a maioria dos entrevistados considera básico o ensino dos padrões de herança. Entretanto, enquanto há participantes desta pesquisa, em especial os docentes, que criticam o ensino desse tópico focado na resolução de problemas, no uso do quadrado de Punnett e no cálculo de probabilidades, tais autores dão grande importância aos “problemas de lápis e papel”. Nas entrevistas, também se pode verificar que geralmente os professores, principalmente os pertencentes ao Grupo 2<sup>30</sup> dos dois contextos, defendem o ensino de tais elementos. No caso de São Paulo, seria importante mencionar que os dois professores defensores lecionam em escola particular, diferentemente dos demais entrevistados do contexto. Como os problemas são frequentemente cobrados em vestibulares e essas escolas se destacam na preparação de alunos para tais exames, esses professores

---

<sup>30</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 2, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 2, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

podem ser influenciados pelos mesmos. Dentre esses dois entrevistados, isso é mais evidente na fala de PB6, segundo o qual é importante ensinar e cobrar do aluno, pois de alguma forma ele será cobrado no vestibular.

Porém, PB2 diz não estar preocupado com o vestibular, pois não leciona para alunos do último ano. Ao lecionar para alunos do primeiro ano, comenta que seu objetivo é desenvolver o raciocínio do aluno, incluindo desenvolver sua capacidade de analisar dados presentes nos problemas.

Desse modo, assim como Ayuso e Banet (2002), PB2 dá grande ênfase ao ensino dos padrões de herança baseados em problemas. Porém, diferentemente dos demais entrevistados, tais autores, assim como PB2, enfatizam que não é qualquer tipo de problema que estão defendendo. Para PB2, o importante é que sejam atividades nas quais os alunos possam levantar hipóteses a partir de dados fornecidos, desenvolvendo dessa forma seu raciocínio. Já para os autores, os alunos começariam com problemas de causa e efeito, por exemplo, fornecer o genótipo e o padrão de herança dos progenitores e solicitar o fenótipo e o genótipo dos descendentes. Depois avançariam para problemas mais complexos, similares aos mencionados por PB2, pois são mais abertos, sem uma única resposta e que, em sua opinião, permitem o desenvolvimento do raciocínio científico nos alunos. Estes problemas também incluem análise de dados e levantamento de hipóteses, além do uso de algoritmos. Os autores ainda defendem que esses problemas devem ser baseados em situações interessantes aos alunos, em vez de utilizar problemas baseados em organismos pouco conhecidos por eles.

O fato da opinião de PB2 ser próxima da opinião dos autores provavelmente não é mero acaso. Na época da entrevista, PB2 já era mestre em Ensino de Genética e, em sua dissertação, Ayuso e Banet (2002) foi uma referência, além de outros trabalhos dos autores.

Para tais autores, ainda é importante desenvolver nos alunos uma visão adequada da natureza do conhecimento científico, mas sem necessariamente adotar uma perspectiva histórica, muitas vezes acompanhada de anedotas e imprecisões. Dougherty (2010) também defende a não-manutenção da sequência histórica nos programas de ensino, pois acredita que esta pode estimular uma visão determinista da Genética, como será discutido mais adiante, ainda nesta seção, página 181.

Por outro lado, é preciso mencionar que parte dos entrevistados, principalmente aqueles de São Paulo e/ou professores dos dois contextos, apresentam menções a favor da conexão do ensino dos padrões de herança com a História da Ciência, sendo que, para PB5,

essa união é fundamental. Ao menos para três entrevistados brasileiros, sendo dois deles docentes, parece haver uma união entre essa abordagem e a Filosofia da Ciência. Tais entrevistados dizem julgá-la importante para o estudante compreender como o conhecimento de Genética foi construído. Já para DB3, é básico o aluno compreender como o conhecimento científico é gerado, mas não chega a mencionar se julga importante a conexão dos conteúdos ensinados com a História da Genética. Porém, seu discurso parece estar muito relacionado com o defendido no programa da disciplina de Genética que ministra na universidade, o qual utiliza a História da Genética para mostrar como o conhecimento da área foi construído, conforme também será discutido ainda nesta seção, página 166.

PB2, apesar de dizer que considera os conteúdos de Genética para desenvolver no aluno um raciocínio que o auxilie a avaliar se as informações recebidas têm ou não respaldo científico, diz não considerar mais a Filosofia da Ciência como conteúdo. Para esse professor, é complicado utilizá-la, atrelada a exemplos retirados da História da Genética, para propiciar no aluno uma visão de como o conhecimento é construído. Esse professor formou-se e pós-graduou-se com docentes, também da Universidade de São Paulo, favoráveis ao uso da sequência histórica para ensinar Genética e que a consideram uma forma de fazer com que os alunos compreendam como o conhecimento é construído. PB2, entretanto, diz que tentou utilizar a História da Ciência para ensinar Filosofia da Ciência mas, em sua opinião, não obteve sucesso. Porém, é importante mencionar que um “tom filosófico” aparece no discurso de PB2, como se pode verificar nas citações apresentadas na página 119, o que em parte pode ser reflexo de uma preocupação em manter um discurso acadêmico diante do contexto da entrevista. Entretanto, também parece haver no seu discurso uma confusão entre epistemologia e ontologia, já que, diferentemente do supostamente defendido pelo entrevistado, o fato de ainda não se ter construído o conhecimento a respeito de um fenômeno não quer dizer que esse fenômeno não exista.

Já a opinião de que o ensino de divisão celular juntamente ao ensino de Genética é importante, preponderantemente apresentada pelos entrevistados, em especial os de São Paulo, também está presente em Camargo e Infante-Malaquias (2007) e Ayuso e Banet (2002). Assim como vários entrevistados de diferentes grupos<sup>31</sup>, tais autores defendem que

---

<sup>31</sup> PB2, PB6, PE3, DB2, DB3, DB6 e DE5.

essa conexão é básica para os alunos compreenderem os padrões de herança. Além disso, Ayuso e Banet (2002), assim como DB2 e DE5, não consideram necessário conhecer as fases de tais processos de divisão. Para eles, o importante é os alunos compreenderem a consequência dos processos, pois têm dificuldades de entender as fases e facilmente as esquecem. Porém, há a visão de DE6, o qual não considera a divisão celular e as leis de Mendel conhecimentos básicos no ensino de Genética, já que eles em si não explicam o fenótipo dos organismos. Para ele, meiose é um tópico de difícil compreensão para os alunos e, juntamente com as leis mendelianas, propicia apenas uma visão de como os genes se comportam durante a reprodução sexual. Ainda diz que o ensino de Genética concentrado apenas em tais conteúdos estimula nos estudantes uma visão determinista genética, pois um par de genes seria insuficiente para explicar o fenótipo. Para sua compreensão, o entrevistado julga mais importante a abordagem dos elementos básicos de Genética Molecular. Esse posicionamento de DE6 merece ser mais bem discutido. Mais adiante, serão apontados questionamentos para o ensino de Genética centrado nas leis mendelianas<sup>32</sup>. Entretanto, neste momento seria relevante se perguntar se o ensino de Genética sem as leis mendelianas seria possível. Outros tópicos podem ser mais importantes para os alunos compreenderem como as características são expressas. Entretanto, deve-se refletir se seriam suficientes para a compreensão da herança em si.

Outro conteúdo mencionado pela maioria dos entrevistados e também defendido pela literatura seria a Biotecnologia. Autores como Xavier, Freire e Moraes (2006), Nascimento (2005) e Ayuso e Banet (2002) preocupam-se com o ensino desse tópico. Ayuso e Banet (2002) comentam que esses tópicos se proliferam em notícias presentes nos meios de comunicação. Para eles, assim como para DB4, tais conteúdos deveriam ser trabalhados paralelamente a outros. Acreditam ainda que debates sobre tais conteúdos poderiam propiciar o desenvolvimento de valores nos alunos.

Entretanto, como já foi mencionado anteriormente, nem todos os entrevistados consideram ser básico ensinar no Ensino Médio tais conteúdos, pois acreditam que eles ajudariam a formar uma sobrecarga de tópicos, resultando em um trabalho superficial tanto dos assuntos ligados à Biotecnologia como de aspectos mais elementares da Genética.

---

<sup>32</sup> A partir da página 152.

Docentes que consideram o ensino da Biotecnologia no Ensino Médio como não prioritário alegam que os alunos apresentam dificuldades de compreender tais tópicos e saem do Ensino Médio sem dominar outros tópicos mais básicos, os quais são inclusive essenciais para a compreensão das aplicações da Genética. De fato, vários autores já mostraram as dificuldades dos alunos em compreender vários elementos básicos da área (AYUSO; BANET, 2002). Entre os trabalhos mais recentes, que também abordam as dificuldades de compreensão de tópicos relacionados à Biotecnologia, pode-se citar os trabalhos de Pedrancini *et al.* (2007; 2008), Usak *et al.* (2009) e Dawson e Soames (2006), entre outros trabalhos disponíveis na literatura. Também Infante-Malachias *et al.* (2010) relatam que os estudantes saem do Ensino Médio e chegam à Universidade de São Paulo sem dominar tópicos aqui considerados pelos docentes como básicos para a compreensão da Genética e pré-requisitos para entender Biotecnologia.

Segundo os dados de Infante-Malachias *et al.* (2010), aqueles entrevistados que acreditam que os professores não estão preparados para ensinar seus alunos podem estar corretos, pois tais pesquisadores evidenciaram que, em muitos aspectos, as dificuldades persistem e ainda se encontram agravadas nos alunos que estão saindo do último ano da universidade com o diploma para assumir como professor uma sala de aula. Seria de se questionar, então, quais seriam as causas para esses licenciados apresentarem tais dificuldades após terem passado pelos quatro ou seis anos de formação na Universidade.

Sendo alguns conteúdos considerados básicos pela maioria dos entrevistados, pode-se questionar se esses estão sendo trabalhados pelas instituições de Ensino Superior durante a formação dos professores. Para auxiliar nessa discussão, consultaram-se aqui os programas dos cursos de formação de professores de Biologia das duas universidades estudadas.

Na Universidade de São Paulo, os professores que lecionarão Biologia no Ensino Médio são formados pelo curso de *Licenciatura em Ciências Biológicas*. Especificamente sobre as áreas de conhecimento discutidas na presente pesquisa, esses discentes possuem como disciplinas obrigatórias: *BIO0203 Genética* e *BIO0205 Biologia Molecular*. É possível verificar, nas ementas desses cursos (disponíveis em [www.sistemas.usp.br](http://www.sistemas.usp.br), acesso em 05/05/2011) e nos programas de 2010/2011 dessas disciplinas (fornecidos pelos próprios docentes), que conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de São Paulo aparecem listados.

Na ementa da disciplina *BIO0203 Genética*, aparecem conteúdos relacionados a padrões de herança, às leis mendelianas e à definição de gene. No programa dessa disciplina, não aparecem os conteúdos a serem ensinados, mas pode-se ter uma base sobre esses ao se observar os temas das aulas. Além dos padrões de herança, a disciplina também aborda tópicos como mitose e meiose, e seus docentes utilizam-se da história da Biologia e da proposição de problemas durante as aulas. Não aparecem nesse documento, especificamente, menções sobre definições de gene, apesar de possivelmente a definição clássica do termo aparecer nas aulas sobre os padrões de herança. Nesse programa, os docentes explicam que ainda seguem as orientações do projeto *Science as a Way of Knowing*, organizado pelo Committee of the American Society of Zoologists em associação com outras onze entidades científicas. Trata-se de um projeto destinado à formação de professores nas universidades e que, desde 1983, passou a publicar a cada ano propostas para o ensino de Biologia em uma área específica. A proposta de Genética foi publicada em 1986 (MOORE, 1986). No programa da disciplina, os docentes destacam que, para esse projeto, a crise no ensino de Ciências se dá devido à ênfase demasiada no ensino de descobertas recentes da Biologia, sem favorecer a compreensão de uma rede conceitual. Essas ideias coincidem com aquelas expressas por alguns docentes entrevistados, os quais consideram o ensino de Biotecnologia como secundário ou não prioritário no Ensino Médio, principalmente na fala de DB3. Conforme comentado, na opinião dessa docente, os tópicos atuais relacionados à aplicação da Genética e à Biologia Molecular não são prioritários para os alunos do Ensino Médio, sendo mais importante dedicar-se ao ensino de aspectos básicos, tais como: “o que é a metodologia científica”, “o que é fazer Ciência”, “o que é ter uma pergunta e tentar respondê-la”. Na disciplina mencionada, esses aspectos da Filosofia da Ciência são tratados por meio da História da Ciência. Para tanto, os alunos têm como leitura obrigatória, durante todo o curso da disciplina, o texto de Moore (1986), traduzido pelos docentes, dentre eles, além de DB3, também DB2, a qual também mencionou que as modernidades da Genética devem ser abordadas somente se os alunos compreenderam outros conteúdos básicos. O referido texto de Moore aborda cada tópico pelo seu contexto histórico, partindo desde as concepções pré-mendelianas. É preciso lembrar que outros docentes, DB1 e DB5, apesar de defenderem o ensino da Biotecnologia, dão grande importância ao ensino pautado na História da Ciência para ensinar como o conhecimento de Genética é gerado, sendo possível que o mencionado projeto também tenha influenciado suas visões nesse aspecto. Já na disciplina *BIO0205*

*Biologia Molecular*, a ementa e o programa trazem igualmente conteúdos relacionados à Genética Molecular, tais como DNA, síntese proteica e também aplicações da tecnologia do DNA recombinante.

A grade curricular do curso ainda abrange duas disciplinas na área especificamente voltadas para o ensino: *BIO0509 Genética Prática para os Ensinos Fundamental e Médio* e *BIO 0441 Biologia Molecular para a Licenciatura*. Tais disciplinas são optativas livres e estão incluídas em uma lista de seis disciplinas, das quais o aluno é obrigado a optar por pelo menos duas, podendo ser essas as escolhidas ou não.

A *BIO0509* procura abordar conteúdos relacionados ao ensino das leis mendelianas e outros padrões de herança, assim como aspectos citológicos da segregação dos cromossomos, reforçando a preocupação em formar professores que saibam ensinar esses conteúdos.

Já a ementa e o programa da *BIO 0441* contempla aspectos moleculares do genoma e tópicos relacionados à aplicação da Genética Molecular, tais como transgênicos e clonagem molecular. Essa disciplina apresenta como objetivos “explicar em termos moleculares os fenômenos genéticos observáveis” e “aprimorar conceitos básicos de Biologia Molecular, tendo como eixo principal a discussão de temas atuais tratados pela mídia leiga”. Pode-se perceber que esses objetivos estão relacionados com as preocupações expressas nas entrevistas, quando os entrevistados justificam a escolha dos conteúdos mencionando sua importância para o aluno compreender o que está ocorrendo no seu cotidiano e na mídia. Porém, mesmo que metade dos docentes entrevistados do contexto de São Paulo considerem as aplicações da Genética como conteúdos secundários para o Ensino Médio, é dada grande ênfase a esse conteúdo na disciplina *BIO0441*, revelando uma preocupação de preparar os futuros professores para abordar tais temas, diferentemente das ideias expressas no programa da disciplina *BIO0203 Genética*, o que reflete a dicotomia de opiniões entre os docentes dessa universidade, também evidenciada nas entrevistas.

Já na Western Michigan University, há duas opções de curso para formação de professores para o ensino secundário. O estudante pode optar por ter a área como sua principal formação, cursando o *Biology Major – Secondary Education Curriculum*, ou optar por um curso com uma menor carga horária: *Biology Minor – Secondary Education Curriculum*.

Ambos os cursos requerem que os graduandos cursem obrigatoriamente duas disciplinas da área aqui abordada: *BIOS 1500 Molecular and Cellular Biology* e *BIOS 2500*

*Genetics*. As ementas (disponíveis em <https://www.wmich.edu/classlookup>, acesso em 05/05/2011) são bem breves; já os programas de 2010 (também fornecidos pelos professores das disciplinas) apresentam mais informações.

A ementa da primeira disciplina abrange conceitos de Biologia Celular e Molecular. Já seu programa especifica que, dentre outros assuntos relacionados à Biologia Celular, as aulas abordam tópicos relacionados à Genética Molecular, os quais são preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados, tais como: a estrutura dos ácidos nucleicos, a replicação do DNA, a estrutura do cromossomo, expressão gênica, regulação da expressão gênica, mutação e tecnologia genética.

A ementa da *BIOS 2500* também diz apenas que os alunos estudam aspectos relacionados aos mecanismos de herança ao nível celular, individual, familiar e populacional. Já no programa da disciplina, é possível notar que tópicos preponderantemente mencionados pelos entrevistados são abordados na disciplina, tais como divisão celular (mitose e meiose), Genética Molecular (DNA, replicação do DNA, expressão gênica e mutação), gene, Genética mendeliana e outros padrões de herança.

Verifica-se, portanto, que os conteúdos mais preponderantemente mencionados como básicos na presente pesquisa estão presentes nas ementas ou programas dos cursos dos dois contextos.

Na universidade norte-americana não há disciplinas relacionadas à preparação de professores para o ensino de Genética e Biologia Molecular. Apenas uma disciplina do curso é mais voltada à área de ensino do que aos conteúdos relacionados à Biologia. Trata-se da disciplina *SCI 4040 Teaching of Secondary Science*. Segundo a ementa dessa disciplina, o curso é voltado àqueles interessados em ensinar as diversas áreas da Ciência (Ciências da vida, da terra, e físicas, tais como Física e Química) para a *High School*. Descreve ainda que a intenção é apresentar diversas estratégias de ensino e aspectos relacionados à sua prática, tais como a preparação de aulas e sua execução. Essas mesmas informações estão presentes no programa do curso, cedido pela docente (outono de 2009). Ao participar como observadora participante do curso durante um semestre (também outono de 2009), constatei que esse é realmente o caráter do curso. Assuntos relacionados à Genética são eventualmente abordados quando os alunos apresentam microsimulações de aulas sobre os temas relacionados. Entretanto, como o curso não é voltado apenas ao ensino de Biologia e muito menos apenas ao ensino de Genética, não há viabilidade de todos os temas serem abordados. O curso visa a

que os alunos compreendam os parâmetros curriculares estadunidenses (National Science Education Standards) e se baseiem neles para planejar suas aulas. O currículo do estado de Michigan (Michigan Merit Curriculum – MICHIGAN, 2006) também é utilizado como bibliografia básica do curso.

Durante as entrevistas, foi possível verificar explicitamente a influência do currículo em alguns dos professores do Grupo 1<sup>33</sup> dos dois contextos, sendo um professor de São Paulo e duas professoras de Kalamazoo.

Parte dos conteúdos preponderantemente mencionados pelos entrevistados no Brasil encontram-se na Proposta Curricular do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2008), tais como: *Meiose, Padrões de Herança* (o qual aparece expresso dentro dos conteúdos gerais *Os fundamentos da hereditariedade e Genética Humana e saúde*), *Leis de Mendel*, conteúdos relacionados à *Genética Molecular* (presentes nos tópicos *O DNA em ação: estrutura e atuação; RNA: a tradução da mensagem; Código genético e fabricação de proteínas*) e *Biotecnologia* (incluindo Engenharia Genética).

Outros conteúdos preponderantemente mencionados como básicos por grupos específicos de entrevistados de São Paulo estão também presentes neste documento. São eles: *Herança ligada ao sexo*, mencionado por professores; e *Replicação do DNA, Base cromossômica da herança e Código genético*, mencionados por docentes.

Porém, há alguns tópicos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados desse contexto que não aparecem explicitamente na lista dos conteúdos dessa proposta curricular, tais como: *Gene e Interação Gênica*, mencionados por entrevistados de São Paulo em geral; *Filosofia da Ciência*, mencionados por docentes; a *Relação entre DNA e gene* e *Alelos*, mencionados por docentes que lecionam Genética.

Por outro lado, esse documento apresenta conteúdos pouco mencionados como básicos pelos entrevistados de São Paulo, tais como reprodução sexuada, distúrbios metabólicos (fenilcetonúria e albinismo), tecnologias na prevenção de doenças metabólicas, transplantes e

---

<sup>33</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

doenças autoimunes, aconselhamento genético (finalidades, importância e acesso) e história da descoberta do modelo de duplicação do DNA. Esses tópicos revelam um certo detalhamento quanto a alguns conteúdos, pois até os distúrbios metabólicos a serem tratados são definidos.

Já no contexto de Kalamazoo, dentre os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados e considerados no Michigan Merit Curriculum (MICHIGAN, 2006) como conteúdos *essenciais*<sup>34</sup> estão tópicos de *Genética Molecular*, tais como *DNA*, a *Estrutura do DNA*, *Função do DNA*, *Mutações* e informações sobre *Gene* e *Divisão Celular*.

Dentre os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados e considerados nesse documento como conteúdos *centrais*<sup>35</sup> estão os *Padrões de Herança* (leis mendelianas e diferenças entre características dominantes, recessivas, codominantes, poligênicas e ligadas ao sexo); descrição dos processos de *Replicação do DNA*, *Síntese Proteica*; e tópicos relacionados à *Biotecnologia*, em especial à aplicação da Genética Molecular (especificamente o reconhecimento de que as técnicas de Engenharia Genética possuem grande potencial e responsabilidades).

Com relação às *Implicações da Biotecnologia*, conteúdo preponderantemente mencionado como básico pelos entrevistados de Kalamazoo, o tópico *avaliar as vantagens e desvantagens da manipulação humana do DNA* aparece entre os tópicos considerados *recomendados*, os quais são desejáveis para estudos avançados na disciplina, mas não são nem cobrados nas avaliações do MME nem são requisito para obtenção de crédito nas disciplinas mais específicas relacionadas à área. Ainda sobre Biotecnologia, também está entre os recomendados a explicação de como a tecnologia do DNA recombinante permite aos cientistas analisar a estrutura e função dos genes.

---

<sup>34</sup> Os quais todos os alunos devem aprender, independentemente das disciplinas cursadas na High School, sendo essenciais para a sua graduação nesse nível de ensino e avaliados pelo Michigan Merit Examination (MME).

<sup>35</sup> Os quais são cobrados dos alunos que cursam disciplinas específicas relacionadas à área, mas não são avaliados no MME.

Há também no Michigan Merit Curriculum conteúdos preponderantemente mencionados pelos professores de Kalamazoo, principalmente do Grupo 1<sup>36</sup> (especificamente por PE1 e PE3), mas pouco mencionados pelos docentes da localidade. São eles: *Relação entre DNA e gene*, *Localização do gene*, *Consequências da mutação*, *Quadrado de Punnett e Probabilidades*. Esse fato está relacionado à influência desse currículo entre os professores, já que selecionaram os conteúdos desse documento como básicos. Aqui também aparecem alguns conteúdos defendidos por grupos específicos de entrevistados de Kalamazoo que não aparecem explicitamente nesse currículo, podendo estar ou não incluídos dentre outros presentes nesse documento. Dentre esses conteúdos então: *Genética Humana (Herança de características humanas)*, mencionado por professores em geral; *Anomalias genéticas (síndromes e doenças)*, mencionado por professores do Grupo 1; *Escolha das características dos filhos*, mencionado por professores do Grupo 2; e *Regulação da expressão gênica*, mencionado por docentes em geral.

Por outro lado, há outros conteúdos presentes no Michigan Merit Curriculum que foram pouco mencionados ou não mencionados pelos entrevistados desse contexto, tais como: o conhecimento de que apenas mutações que ocorrem nas células germinativas podem passar de geração para geração; que mutações podem levar à formação de câncer; que cada espécie possui sua sequência de DNA; como o cariótipo pode ser utilizado para a identificação de defeitos genéticos; o reconhecimento de mecanismos geradores de variabilidade genética (tais como mutações, *crossing over*, recombinação por reprodução e assexuada); e os mecanismos que influenciam a diferenciação celular. Assim como no caso de São Paulo, pode-se verificar que os conteúdos que aparecem no currículo, mas não são preponderantes na fala dos entrevistados, são aqueles mais específicos.

De acordo com Craft (2008), os desafios para implementação do Michigan Merit Curriculum eram vistos ora positivamente, ora negativamente pelos superintendentes escolares. Um dos aspectos que lhes preocupavam era o tempo que esse currículo demandaria

---

<sup>36</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007). Já o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

quando utilizado em sala de aula. Em trocas de e-mail posteriores com professores e escolas dessa localidade, notou-se que a carga horária para o Ensino de Biologia não era a mesma em todas as escolas; entretanto, não se identificou grande variação nos casos mencionados. PE2 e PE5, professores de escolas particulares religiosas, informaram que os alunos cumprem obrigatoriamente 1 ano em Biologia (1 crédito) durante o curso da *High School*, lecionado em dois semestres, com cinco aulas semanais de 50 minutos<sup>37</sup>. Já uma funcionária de uma escola pública, onde lecionava PE1, informou que os alunos cursam obrigatoriamente Biologia durante o 9.º ano, no qual as aulas ocorrem em dois módulos, cada qual de 12 semanas e com 70 minutos de aulas diárias.

Mais recentemente, no ano de 2010, foi elaborado no Estado de Michigan um documento contendo os conteúdos prioritários para o nível da *High School*. Trata-se do *High School Science Priority Expectations for the Next Generation of Science Standards*, o qual possui uma parte dedicada ao ensino de Biologia. De acordo com justificativas apresentadas pelo próprio documento (ISD/RESA/RESA COLLABORATIVE, 2010), sua elaboração ocorreu diante do fato de os educadores terem dificuldades em adaptar os programas de seus distritos às avaliações e ao currículo proposto pelo Estado. Apesar de intencionarem um ensino focado em poucos conceitos centrais que devem ser tratados com profundidade, na realidade, os padrões (*standards*) estabelecidos no documento curricular de Michigan são considerados numerosos e amplos. Tais características estariam dificultando o estabelecimento de relações entre os conteúdos centrais e causando uma impressão de que a alfabetização científica está associada ao domínio de uma grande quantidade de fatos e à proficiência de habilidades desconectadas do conteúdo científico.

Desse modo, vários distritos começaram, independentemente, a trabalhar no levantamento dos conteúdos mais importantes e merecedores de maior foco. Para poupar esforços na elaboração de várias listas de conteúdos por grupos separados, que por fim acabam sendo diferentes entre si, resolveu-se elaborar uma lista coletiva. Portanto, uma colaboração dos distritos<sup>38</sup> e agências educacionais<sup>39</sup> em abrangência estadual iniciou a

---

<sup>37</sup> Outros créditos de Biologia também são oferecidos aos estudantes, mas não são obrigatórios.

<sup>38</sup> Cada distrito escolar independente é chamado de ISD: Independent School District.

<sup>39</sup> Cada agência educacional abrange vários distritos e é chamada de ESA: Educational Service Agency.

produção do referido documento com o apoio do Superintendente de Instrução Pública do Estado de Michigan (ISD/RESA/RESA COLLABORATIVE, 2010).

Para ser considerados uma prioridade nesse documento, os tópicos selecionados devem atender aos seguintes critérios: favorecer o aprendizado de ideias e conceitos centrais da disciplina, levar os alunos a realizarem ricas investigações e estar conectado com preocupações sociais críticas. Dessa lista, procurou-se excluir conteúdos redundantes, arbitrários e voltados a habilidades específicas.

Quase todos os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de Kalamazoo que aparecem dentre os conteúdos centrais e essenciais no Michigan Merit Curriculum são destacados como prioritários nesse novo documento, exceto os tópicos relacionados à Biotecnologia e à definição de gene. Quanto àqueles conteúdos presentes no Michigan Merit Curriculum que foram pouco mencionados ou não mencionados pelos entrevistados de Kalamazoo, nenhum aparece listado como prioritário.

Verifica-se uma aproximação de tal ocorrência com a opinião dos professores entrevistados do Grupo 1 dessa localidade<sup>40</sup>, os quais julgam haver outros conteúdos mais importantes do que o ensino de Biotecnologia na área de Genética, não apontando-o como básico. Portanto, essa parece não ser somente uma posição dos professores entrevistados, mas algo que abrange também os envolvidos nas discussões sobre o currículo de Michigan.

Ademais, é importante observar que na lista de conceitos de Genética essenciais para alunos da *High School*, elaborada por especialistas da área ligados à Sociedade Americana de Ensino de Genética (ver DOUGHERTY *et al.*, 2011), conteúdos relacionados à área de Biotecnologia não aparecem, reforçando que nem sempre esses tópicos são considerados prioritários.

As justificativas apontadas pelos entrevistados para o ensino de temas ligados à Biotecnologia no Ensino Médio envolvem elementos a favor de sua importância, principalmente relacionados à importância de tais tópicos para a vida cotidiana do indivíduo. Elas revelam que, no contexto de Michigan, tais conteúdos podem ser importantes inclusive

---

<sup>40</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

para os cidadãos estarem mais esclarecidos na hora de exercer seu direito de eleitor. Desse modo, eles poderão tomar decisões mais conscientes. Tal preocupação poderia também estar presente no contexto brasileiro, pois, apesar de não termos um plebiscito para decidir sobre tais temas, temos o dever de eleger aqueles que diretamente tomarão decisões sobre tais temas no nosso país, ou indiretamente escolherão outros para tomar essas decisões. Mas as justificativas também apontam para o plano individual, já que os alunos poderão optar ou não por consumir um produto transgênico e, quem sabe, se deparar com a oportunidade de escolher ou não as características de seus próprios filhos. Ademais, vários entrevistados dizem ser importante os alunos terem conhecimento para compreenderem as informações recebidas, já que tais temas estão constantemente presentes na mídia.

Porém, a preocupação dos docentes que colocam tais conteúdos como secundários merece reflexões. Eles apontam para elementos importantes, tais como o fato de não adiantar abordar as implicações dessas tecnologias se os alunos não dominam outros conteúdos básicos para sua compreensão. Apontam para importância de sedimentar esse básico, para que, mesmo, não tendo a oportunidade de compreender temas relacionados à Biotecnologia na escola, os alunos tenham a capacidade de compreendê-los quando estiverem fora dela. Ressaltam o perigo de se desejar abordar todas as novidades relacionadas à Genética, provocando uma sobrecarga de conteúdos que dificultem o aprendizado dessas necessárias noções básicas. Desse modo, na ânsia de querer ensinar tudo, poder-se-ia deixar o aluno despreparado para entender até mesmo o mais elementar.

Entretanto, antes de deixar tais tópicos como secundários, seria importante refletir se o problema não está na forma como tais conteúdos estão sendo ensinados. É preciso refletir se o problema não está na forma como os conteúdos são abordados, questionando-se se os conteúdos de Biotecnologia estão sendo ensinados de forma conectada com os considerados tópicos básicos de Genética de forma que esses últimos ajudem na compreensão dos primeiros e vice-versa. Conforme já comentado, página 57, Nascimento (2005) identificou que, pelo menos em livros didáticos, temas relacionados à aplicação da Genética vêm aparecendo sem ligação com os demais conteúdos da área.

Se essa conexão for bem estabelecida, talvez seja possível atingir o defendido por DB4. Essa docente considera importante ensinar sobre Biotecnologia, pois possibilita uma conexão entre o que é ensinado na escola e o cotidiano dos alunos. Essa seria uma questão importante a se considerar quando se deseja que os conhecimentos ensinados na escola

tenham serventia não apenas dentro de seus muros. Desse modo, talvez por um lado esses tópicos mais atuais realmente ajudem os alunos a se interessar pelos conteúdos de Genética, como apontado por DB1 e PB5, e, por outro, os conteúdos de Genética auxiliem esses estudantes a compreender questões relacionadas ao seu cotidiano, como justificam a maioria dos entrevistados.

Entretanto, o cotidiano fora da escola não está apenas relacionado aos conteúdos da Biotecnologia. Como a maioria dos entrevistados também afirmam em suas justificativas, é importante os alunos compreenderem como suas características e suas doenças se manifestam, ou seja, como elas se expressam, como são herdadas, se há a possibilidades de eles terem herdado as doenças e demais características de seus pais ou se eles poderão ter filhos que herdem as próprias. Ainda precisam estar preparados para entender o que os médicos ou a mídia dizem sobre elas. Para tanto, esses entrevistados consideram importante ensinar as leis mendelianas e a Genética Molecular. Porém, seria de se questionar tais conteúdos são suficientes para os alunos compreenderem aspectos importantes relacionados consigo mesmos e seu dia a dia, e se outros elementos essenciais não estão sendo esquecidos ou menos valorizados.

Os padrões de herança mendelianos claramente explicam a herança de características simples, como as monogênicas. Entretanto, como afirmam Griffiths *et al.* (2008b), um gene geralmente não age sozinho, pois atua em conjunto com outros genes do genoma para a determinação das características. Diferentes genes podem agir em uma mesma via. A alteração de um gene da via pode mudar o resultado do fenótipo final expresso.

Essas vias podem ser controladas exclusivamente por genes, sendo *biossintéticas*. Desse modo, sintetizam enzimas responsáveis por catalizar reações que propiciaram o fenótipo final. Mas também podem ser *vias de transdução de sinais* das quais podem participar tanto hormônios produzidos em outras partes do corpo como substâncias provenientes do ambiente. Estas podem ser responsáveis por ativar uma proteína celular, que estimulará uma cascata de proteínas até chegar na ativação de uma proteína reguladora capaz de ativar ou desativar um determinado gene. Existem ainda as vias *desenvolvimentais*, as quais são influenciadas por uma série de processos ocorridos durante o desenvolvimento do corpo do organismo (GRIFFITHS *et al.* 2008b).

Desse modo, como explicam Griffiths *et al.* (2008b) muitas mutações não apresentam 100% de penetrância e não expressam fenótipos claramente distinguíveis, como na herança

monogênica, com claras proporções mendelianas. Muitas mutações exibem penetrância incompleta, ou seja, nem todos os indivíduos com um determinado genótipo o expressam fenotipicamente. Isso também pode ocorrer por influência do meio e de outros genes interagentes, como por exemplo, nos casos de epistasia. Os fatores ambientais e a constituição alélica dos organismos podem ainda influenciar na geração da expressividade variável do fenótipo. Desse modo, o fenótipo pode ser expresso em diferentes intensidades.

É preciso ainda se considerar que a maioria das variações fenotípicas encontradas nos organismos são quantitativas e não qualitativas. Portanto, não se tratam de variedades facilmente distinguíveis, como as cores amarela e verde das ervilhas estudadas por Mendel. Não seria possível, por exemplo, classificar pessoas em brancas e negras, e ainda distinguir claras variáveis qualitativas relacionadas a uma série de suas características, tais como altura, peso, forma, atividades metabólicas, taxa reprodutiva e comportamentos. Essa variedade quantitativa pode ser decorrente da influência do ambiente. Desse modo, fenótipos diferentes podem ser obtidos a partir de um mesmo genótipo. Outro motivo pode ser a herança poligênica, na qual vários loci interagem aditivamente na expressão do fenótipo (GRIFFITHS *et al.* 2000b).

Portanto, o padrão de herança monogênico mendeliano explica apenas parcialmente a expressão de muitas características que os indivíduos possuem. Para sua completa compreensão, é necessário considerar as interações gênicas, a herança poligênica e as influências do ambiente.

Conforme afirma Dougherty (2009), com o avanço do Projeto Genoma Humano, foi possível compreender que muitas características complexas passaram a ser compreendidas, até mesmo aquelas que classicamente se considerava como características simples, antes explicadas simplesmente pelos padrões mendelianos de segregação, como a alcaptonúria. Tais características são consideradas como multifatoriais, produto da interação de vários genes e da dinâmica do ambiente. Dentre elas estão importantes problemas de saúde pública, tais como doenças cardíacas, câncer, acidente vascular cerebral e diabetes.

Dessa forma, pode-se perguntar se o indivíduo que não conhece o papel da interação gênica e dos fatores ambientais e somente domina os padrões de herança mendelianos apresenta conhecimento suficiente para entender suas próprias características e as informações recebidas pelos meios de comunicação e, desse modo, se as justificativas dos entrevistados são realmente contempladas.

Notou-se, nesta pesquisa, que conteúdos importantes para a compreensão das características complexas não foram tão frequentemente mencionados pelos entrevistados como foram as leis mendelianas. No contexto de São Paulo, enquanto *Leis de Mendel* é mencionada pela maioria dos entrevistados (83,3%), conteúdos relacionados à interação entre genes<sup>41</sup> são referidos por menos da metade deles (41,7%), sendo que, dentre os professores do Grupo 1<sup>42</sup>, ninguém chegou a citá-los. Os conteúdos relacionados à influência do ambiente na determinação das características são ainda menos mencionados<sup>43</sup> (por apenas 6,67% dos entrevistados). No contexto de Kalamazoo, as menções aos conteúdos relacionados à interação gênica foram ainda menos frequentes (mencionados por apenas 33,33% dos entrevistados), sendo que, dentre os professores entrevistados do Grupo 2<sup>44</sup> e os docentes da área de Biologia Molecular, não houve entrevistado que mencionasse tais conteúdos. Os professores do Grupo 1 dessa localidade sequer chegaram a mencionar diretamente tais tópicos. Esses apenas aparecem dentre os conteúdos do currículo que eles apontam como básico. Ademais, assim como no contexto de São Paulo, a influência do ambiente na determinação das características foi mencionada como básica a ser ensinada apenas por dois entrevistados (ou seja, 16,67% da amostra de Michigan).

Um discurso que apresentasse mais a preocupação com tais questões foi encontrado em apenas três entrevistados. Dentre eles está a professora brasileira do Grupo 2, PB5, segundo a qual hoje, diante da venda de genomas parciais a preços relativamente acessíveis, é necessário tomar cuidado para não trabalhar com uma visão muito determinista da Genética. É possível que a formação acadêmica dessa professora, doutora na área de Genética, inclusive com estágio no exterior, tenha contribuído para o reconhecimento dessa importância. Além

---

<sup>41</sup> Categorizados como *Interação gênica* (categoria n.º 179 das tabelas do APÊNDICE F e APÊNDICE G), categoria que também inclui as menções referentes à herança poligênica, assim como didaticamente abordado em livros didáticos.

<sup>42</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 1, no contexto de São Paulo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram desempenho inferior no exame do ENEM (2007).

<sup>43</sup> Categorizados como *Efeitos do ambiente na expressão das características* (categoria n.º 143 do APÊNDICE F e APÊNDICE G).

<sup>44</sup> Conforme seção 2.1.2.1.1, página 33, o Grupo de entrevistados 2, no contexto de Kalamazoo, é formado por professores que lecionam em escolas cujos alunos tiveram melhor desempenho no exame do MME (Michigan Merit Examination), no *spring test* de 2009.

dessa entrevistada, de forma ainda mais crítica, essa preocupação aparece nas palavras na docente brasileira DB6. Essa, apesar de valorizar o ensino das leis mendelianas, julga fundamental a abordagem de questões relacionadas com determinação de características multifatoriais para os alunos compreenderem como doenças que são grandes problemas de saúde pública, tais como a diabetes, se expressam no indivíduo. Além de tais entrevistadas brasileiras, o docente de Michigan DE6 também considera a Genética mendeliana como não suficiente para explicar as características dos indivíduos. Apesar de enfatizar mais a importância da Genética Molecular para que tal compreensão ocorra, também cita como importante os alunos compreenderem a Genética quantitativa e as influências do ambiente na expressão das características.

Na Proposta Curricular do Estado de São Paulo (2010), não estão explícitos conteúdos que indiquem claramente o tratamento de temas como herança multifatorial, a influência do ambiente na expressão das características, diferente das Leis Mendelianas que aparecem explicitamente. Já no currículo do estado de Michigan (MICHIGAN, 2006) espera-se claramente que o aluno aprenda que o ambiente influencia na determinação das características e que estas podem ser determinadas por um ou mais genes. Entretanto, como afirmam Dougherty *et al.* (2011) o estado de Michigan se destaca pela abrangência dos tópicos em genética em seu currículo, porém a herança poligênia é um tópico raramente presente nos parâmetros dos demais estados dos Estados Unidos e a influência do ambiente na determinação das características é considerada como inadequadamente abordada nestes documentos. Por outro lado, os autores ressaltam que a herança mendeliana é um tópico amplamente considerado pelos estados, assim como outros tópicos preponderantemente mencionados pelos entrevistados desta pesquisa como básico: genes, meiose e a estrutura do DNA. Dougherty *et al.* (2011) concluíram que conhecimentos construídos pela Ciência há mais tempo são, em geral, aqueles mais adequadamente abordados pelos currículos, mas o mesmo não ocorre com os mais recentes. Esses autores afirmam que somente nos últimos 10 ou 20 anos os avanços da tecnologia elucidaram os mecanismos genéticos envolvidos na expressão das características complexas.

Bizzo (1998b) critica a relação determinista entre genótipo e fenótipo com que a Genética tem sido ensinada nas escolas, a qual explora a matemática para mostrar aos alunos qual será o fenótipo de seus filhos. Para o autor, tão importante quanto ensinar o que é um gene dominante é ensinar *penetrância* e *expressividade*, as quais estão presentes na expressão

das características humanas. Isso seria importante para o aluno compreender, por exemplo, que o DNA não é uma fita com informações que se expressa em um produto único independente do meio onde se encontra. Exemplificando, afirma que o fato de se ter o DNA de dinossauro não quer dizer que hoje seja possível reconstituir tal animal, pois se precisa de um *ambiente* adequado para isso, como um ovo da mesma espécie que permitisse certas condições de desenvolvimento, condições climáticas adequadas, entre outros. Portanto, considera importante o aluno compreender que não basta ter um genoma, o ambiente apresenta grande relevância na expressão das características de um indivíduo.

Assim como Bizzo, Dougherty (2009) também considera que o modo pelo qual a Genética está sendo ensinada proporciona uma compreensão determinista da mesma. Isso ocorre quando se omite a complexidade da expressão das características. Segundo o autor, essa visão determinista pode dificultar aos estudantes uma participação efetiva como consumidores de produtos gerados na área médica, além de não trazer esclarecimentos suficientes para a tomada de decisões na área de saúde, principalmente diante do provimento de testes genéticos, avaliações de riscos, predisposições e as possibilidades de tratamentos que incluem componentes biológicos e comportamentais.

Bizzo (1998b) ainda aponta para outros problemas sociais que tal visão determinista pode causar, como o fomento de idéias eugênicas. A eugenia ganhou formato científico em 1869, quando Francis Galton, primo de Charles Darwin, publicou *Hereditary genius*, apesar de haver exemplos de sua prática desde que os espartanos sacrificavam no abismo de Taígeto os bebês com qualquer má-formação ou simplesmente sem vigor físico para se tornarem fortes guerreiros. Nesse trabalho, Galton apresentava um minucioso estudo genealógico que realizara e o levava a conclusão de que o talento das famílias aristocráticas era herdado de geração para geração, e não fruto das vantagens sociais passadas de pai para filho (BIZZO, 1995).

Inicialmente, Galton apoiou-se na teoria da pangênese de Darwin, segundo a qual as características dos indivíduos eram herdadas a partir de pequenas partículas denominadas gêmulas, as quais eram produzidas em cada parte do corpo do indivíduo e transportadas até seus órgãos sexuais, onde impregnariam o embrião formado ali presente, levando inclusive as características adquiridas pelo progenitor durante sua vida. Desse modo, se o organismo perder uma asa, não teria as gêmulas produzidas pela mesma para transmitir a sua prole, a qual também nasceria sem asas. Portanto, para Galton, as pessoas talentosas deveriam gerar vários

filhos, transmitindo através de suas gêmulas todo seu talento aos seus descendentes (BIZZO, 1998b).

Para justificar teoricamente a teoria da pangênese, e assim fundamentar a eugenia, Galton utilizou e desenvolveu juntamente com seus discípulos ferramentas matemáticas. Utilizando-se o já existente conceito de distribuição normal, ele conclui que características humanas de uma população, incluindo a inteligência, variam dentro de certos padrões, apresentando médias verdadeiras. Havendo uma média para a capacidade mental, de um lado da curva encontram-se os desvios daqueles mais próximos à “estupidez” e, do outro lado, aqueles mais próximos à genialidade. A partir daí, uma das importantes invenções de Galton seria a *regressão*, criada para explicar a *essência da raça*. Tendo-se a distribuição de duas variáveis (ex: altura dos indivíduos e tamanho dos pés), a regressão permite encontrar a tendência de relação, a qual pode ser representada por uma reta. Para ele, essa reta corresponderia ao padrão geral da raça e os pontos que dela se dispersam são produtos da falta de cuidado com a escolha dos reprodutores. Desse modo, a defesa da eugenia se constituía na importância da recuperação do padrão da raça, um objetivo a se perseguir (BIZZO, 1995, 1998b).

Almejando atingir tal objetivo, eugenistas defendiam a assistência social a somente determinadas parcelas da população, com a expectativa de tais benefícios serem herdados pelas gerações seguintes, as quais nasceriam mais saudáveis, robustas e inteligentes. Para tanto, também era necessário que essas futuras crianças fossem filhas de pais selecionados. Investir socialmente em doentes, mendigos, pobres e desempregados seria uma ameaça para as nações, pois permitiria que esses viessem a se reproduzir, produzindo indivíduos cujas características se dispersavam do desejado padrão da raça (BIZZO, 1998b).

Apesar do desenvolvimento da Genética e do insucesso de comprovação experimental da Teoria da Pangênese, fatores capazes de contradizer os fundamentos eugênicos, a eugenia não se abalou e atingiu seu auge; evidencia-se, portanto, o que Bizzo (1995) chama de *Paradoxo social-eugênico*. Mesmo sem sustentação científica, ela se fortaleceu na década de 20, recebendo inclusive o apoio de cientistas, os quais se apoiavam em suas convicções pessoais. Entretanto, as ações em prol da eugenia não se restringem a esse período nem à Alemanha nazista, onde teve grande sucesso. Várias políticas foram realizadas com base em tais ideias, como a esterilização compulsória de criminosos em vários estados dos Estados Unidos, desde 1880. Legislações que regulamentavam os atos eugênicos estiveram em vigor

até meados dos anos 1970. Dezenas ou talvez centenas de milhares de pessoas foram compulsoriamente esterelizadas em vários países, tais como Suécia, Estônia, Dinamarca, Finlândia, Noruega e Suíça, por serem pobres, deficientes físicos, delinquentes, prostitutas ou ciganos. Além dos indivíduos que eram obrigados pelo estado e suas leis a perder seu direito reprodutivo, no ambiente educacional, os professores eram cobrados a convencer os cidadãos a abrir mão do mesmo. No Brasil, apesar de se verificar uma expressão mais comportada do movimento devido à oposição da Igreja Católica, também houve a criação da Sociedade de Eugenia de São Paulo, com a adesão de vários seguidores dos círculos políticos, literários e científicos, tais como Monteiro Lobato e Renato Kehl. Estímulos a favor dos ideais eugênicos estavam presentes principalmente na formação de professores (BIZZO, 1998b).

Para Bizzo (1998b), o desenvolvimento de novas tecnologias possibilitado pelo avanço da Biologia Molecular, tornando possível a clonagem de seres, a manipulação de embriões e a seleção de genes para determinar características desejadas, nos remete de volta ao paradoxo social-eugênico. Segundo o autor, refletir sobre as questões referentes à origem e a persistências das ideias eugênicas é importante no mundo atual, num contexto de elucidação do material hereditário humano e de possíveis tentações em querer modificá-lo para “melhorar a espécie” ou para a “salvar a nação”. Pelo menos no mundo esportivo, a possibilidade de uso do doping genético para melhorar o desempenho de atletas já é uma preocupação real (ARTIOLI; HIRATA; LANCHETA JR., 2007). Bizzo (1995, 1998b) argumenta que a sociedade em que vivemos se choca cada vez menos com certas tragédias, como o assassinato de dezenas de detidos na “Chacina do Parque S. Lucas” ou na penitenciária do Carandiru, cujas vítimas são vistas como elementos não pertencentes ao “nosso grupo”. É nesse contexto que os alunos de hoje poderão amanhã ter que decidir se aceitam ou não manter a inferioridade de seus próprios genes ao se depararem com uma situação em que poderão optar por escolher as características dos próprios filhos. Junto a essa problemática estão as visões deterministas que colocam no DNA toda a responsabilidade pelas características humanas.

Para Dougherty (2009), o determinismo genético pode ser reforçado na escola até mesmo pela ordem com a qual ensinamos os conteúdos de Genética. Ao iniciar o ensino com exemplos de características monogênicas que exibem a segregação mendeliana e, somente após várias semanas, rapidamente abordar o ensino da herança quantitativa, os professores terão dificuldades em convencer os alunos de que as características poligênicas prevalecem.

Por isso, como anteriormente mencionado, página 162, ao contrário de alguns entrevistados, tal autor questiona a manutenção da sequência histórica para o ensino de Genética.

Não se pode afirmar, pelo menos por enquanto, que essa seja a melhor solução para o ensino de Genética. Apesar de a proposta merecer ser discutida, Dougherty ainda a está testando por meio de pesquisas, as quais incluem sua aplicação com alunos. Entretanto, pelos perigos decorrentes do determinismo genético explicitados por Bizzo (1995, 1998b) e Dougherty (2009), a defesa de se dar mais ênfase às características complexas no Ensino Médio apresentam grande importância.

A proposta de Dougherty não consiste em os alunos compreenderem o mecanismo gerador de cada característica humana em particular. Como o autor afirma, a complexidade de tais conhecimentos não é apenas demasiada para os alunos do Ensino Médio ou para o seu professor, mas algo que a ciência ainda está conhecendo. Entretanto, como já afirmam Lewontin, Rose e Kami (1984), os críticos do determinismo biológico não objetivam ficar estáticos devido ao fato de a compreensão das características dos organismos ser complicada. O desejo deles é propor uma visão alternativa de mundo, que não consiste, por outro lado, no determinismo social, e sim considere a rica rede de interações determinantes do fenótipo. Essa visão parece se encaixar à proposta de Dougherty.

Desse modo, apesar da complexidade do fenômeno a ser ensinado, no Ensino Médio, o importante seria que ao menos elementos fundamentais desse processo sejam esclarecidos e se tornem acessíveis para que qualquer pessoa possa compreender os fatores que influenciam suas características e não fiquem apenas com uma imagem determinista de que o genótipo A implica um indivíduo que possua o fenótipo X. Assim, a proposta descrita por Dougherty (2009) simplesmente consiste em deixar claro para o aluno que muitas características apresentam variação contínua, que essas características são fortemente influenciadas pelo ambiente e que há fatores que contribuem quantitativamente para a sua manifestação. Posteriormente, propõe-se ensinar que esses fatores são os genes, os quais existem em diferentes formas chamadas alelos; que os alelos passam de geração para geração por processos como a meiose e a fertilização; que o movimento dos cromossomos durante tais processos permite padrões característicos de herança e que, ao se observar separadamente os padrões de herança de um ou dois pares de genes, é possível se observar as leis mendelianas. Finalmente, deixar-se-ia claro ao aluno o fato de que os alelos contribuintes para as

características complexas também segregam pelos padrões mendelianos, mas enfatizando que a diferença consiste em vários alelos contribuírem para uma mesma característica.

Ademais, Dougherty (2009) critica a forma como os quadrados de Punnett são utilizados. Para ele, essa ferramenta pode se tornar conceitualmente limitante quando utilizada excessivamente. Se a maioria dos exemplos de herança são explicados apenas por quadrados de Punnett, pode-se reforçar uma visão determinista genética e uma compreensão limitada dos riscos.

Não se trata aqui de uma crítica ao uso das ferramentas matemáticas e do ensino das leis mendelianas, mas sim de um questionamento das ênfases dadas a tais ferramentas e aos conteúdos ensinados.

Camargo e Infante-Malaquias (2007) também defendem a abordagem das heranças genéticas humanas monogênicas como um dos tipos de herança humana, e não como regra geral. Tais autores também mencionam a importância de deixar claro que as características podem ser determinadas tanto por fatores genéticos como ambientais, evitando o determinismo genético. Assim como DE6 e DB6, para Camargo e Infante-Malaquias (2007) é importante que os alunos tenham exemplos de herança humana.

Desse modo, não apenas as novas aplicações tecnológicas da Genética são temas modernos importantes e relacionados ao cotidiano. Se se deseja que os alunos compreendam como se expressam suas doenças e características, uma visão moderna de hereditariedade é essencial. Caso contrário, seria relevante se perguntar: Como um aluno irá se comportar ao saber que tem ou não o gene do diabetes<sup>45</sup>? Irá abandonar todas as restrições alimentares sugeridas pelo médico, pois afinal o genótipo determinará seu fenótipo e inevitavelmente filho de diabético, diabético será, ou, no segundo caso, não se preocupará com nenhuma recomendação de nutrição alimentar equilibrada, pois está “livre” de qualquer enfermidade? Será que ele sairá bebendo descontroladamente, pois afinal não possui o gene do alcoolismo<sup>46</sup>? Como se defenderá se seu plano de saúde resolver privá-lo de atendimentos,

---

<sup>45</sup> As expressões “gene do diabetes”, “genes do alcoolismo”, “gene da inteligência”, entre outras aqui mencionadas, referem-se àquelas que os alunos possivelmente ouvem em seu cotidiano. Entretanto, é importante esclarecer que o mais adequado seria dizer “a variação do gene que expressa o diabetes”, “a variação do gene que expressa o alcoolismo”, “a variação do gene que expressa o inteligência” e assim para os demais casos.

quando seu exame mostrar que ele tem o gene para o câncer X ou Y? Como se comportaria diante da possibilidade de definir as características de seus filhos? Aqueles com bolsos mais fartos escolheriam os genes da inteligência, da beleza e do “bom-mocismo” e concluiriam que aqueles que não nascem com determinada cor do olho possuem certos comportamentos indesejáveis, pois seus pais não escolheram os genes certos?

Não se pretende aqui dizer que as tecnologias e os avanços da Genética com relação ao conhecimento dos genomas seja algo negativo, mas é preciso se pensar como seus frutos estão sendo compreendidos, interpretados e utilizados. Para tanto, é essencial para a formação do cidadão que ele possa se posicionar criticamente diante de tais questões, e o conhecimento da Genética complexa é essencial nesse sentido e não apenas como um ou outro exemplo de livro didático, tratado como exceção após exaustivos exercícios onde as porcentagens explicam tudo.

Pretende-se aqui questionar se a Genética priorizada e ensinada nas escolas realmente explica o mundo fora dela. Para que fazer tantos problemas, calcular tantas porcentagens e probabilidades, se o indivíduo não compreender que aquela característica herdada pode ou não ser expressa? O que isso significa em sua vida cotidiana?

### **3 APROXIMAÇÕES E DISTANCIAMENTOS ENTRE OS CONTEÚDOS DE GENÉTICA DOS LIVROS DIDÁTICOS E DA BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA**

#### **3.1 METODOLOGIA**

##### **3.1.1 Os livros didáticos nos contextos da pesquisa**

Nesta pesquisa, foram analisados livros didáticos de dois contextos, sendo parte deles utilizados no Brasil e outra parte, nos Estados Unidos (particularmente por professores de Kalamazoo, em Michigan).

No Brasil, a preocupação com a qualidade dos livros didáticos tem levado esses materiais a passarem por avaliações governamentais.

De acordo com Bizzo (2000), O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) foi instituído em 1985, permitindo que os alunos de escolas públicas recebessem livros didáticos escolhidos pelos próprios professores. Entretanto, até 1994, o fato de os professores escolherem os livros que iriam utilizar em sala de aula não garantia que tais materiais fossem de qualidade, pois o programa inicialmente não incluía uma avaliação das obras. Ademais, esses professores, além de trazerem consigo dificuldades decorrentes de sua formação problemática, eram alvo de estratégias mercadológicas agressivas adotadas pelo mercado editorial. Havia editoras que ofereciam brindes para que eles adotassem seus livros e realizavam até anúncios publicitários televisivos em horário nobre. Diante dessa situação, foi importante a adoção de iniciativas pelo poder público que favorecessem a formação inicial e permanente dos professores e a qualidade dos livros didáticos.

Em decorrência de tal urgência, o Ministério da Educação (MEC) realizou em 1996 a primeira avaliação oficial de livros didáticos. Desse modo, os professores passaram a receber um guia com as resenhas dos livros inscritos e aprovados por uma avaliação rigorosa, embasada em critérios estabelecidos pela Secretaria de Ensino Fundamental do MEC. Com tais critérios, foram excluídos da lista de livros a serem adotados aqueles com erros

conceituais, metodologia de ensino deficiente, veiculação de preconceitos e informações que colocassem em risco a integridade física de alunos e professores.

O início das avaliações foi importante pois, anteriormente, muitos livros com tais características estavam entre os mais vendidos aos governos estaduais e federal, sendo, portanto, adotados por vários professores. Elas também contribuíram para que as editoras providenciassem correções nos livros tradicionalmente vendidos e ainda publicassem novos livros junto com novos autores. É preciso mencionar que problemas graves foram identificados nos livros excluídos, tais como a afirmação de que a síndrome da imunodeficiência adquirida (AIDS) se propaga por qualquer contato físico entre as pessoas, ou instruções erradas de primeiros-socorros a vítimas de acidentes ofídicos que colocavam a vida das vítimas em perigo (BIZZO, 2000).

Entretanto, como o PNLD era destinado ao Ensino Fundamental, em 2004, o MEC criou um programa para o Ensino Médio, o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) (MEC, <http://www.mec.gov.br>). De acordo com El-Hani e Roque (2007), primeiramente o programa abrangeu apenas livros da área de Língua Portuguesa e Matemática, atendendo inicialmente as regiões norte e nordeste do Brasil e, posteriormente, todo o País. Já em 2005 a equipe dos autores mencionados trabalhava na avaliação de livros na área de Biologia, os quais, por sua vez, foram comprados pelo governo no ano de 2007. De acordo com El-Hani *et al.* (2007), o objetivo era universalizar a distribuição dos livros didáticos nas escolas de Ensino Médio, selecionando os materiais que atendessem aos critérios de avaliação para compor o guia que orientaria os professores na escolha dos materiais. Baseando-se no guia que continha as resenhas dos livros avaliados, cada professor de escola pública poderia escolher o material que desejava utilizar com seus alunos e este era comprado e distribuído pelo Ministério da Educação. Apesar de todo o programa ter como responsável o MEC, foi estabelecida uma parceria com universidades de diversas regiões do Brasil para a constituição da equipe de avaliação.

A avaliação dos livros de Biologia foi realizada por uma equipe de 26 docentes de universidades brasileiras, sendo que cada material ficou sob a responsabilidade de uma equipe de três ou quatro avaliadores e um coordenador. A identidade do material não era revelada para os avaliadores, os quais verificaram se os materiais obedeciam a quatro classes de critérios: 1) correção e adequação conceitual e exatidão da informação básica; 2) adequação e coerência metodológica; 3) promoção de visões adequadas sobre a construção do

conhecimento científico; e 4) princípios éticos. Utilizando o guia com os livros aprovados, contendo resenhas sobre os seus pontos fortes e fracos, a partir de 2007 os professores de Ensino Médio passaram a escolher os livros a serem adotados nas escolas públicas brasileiras. Quando, após discussões entre avaliadores e coordenadores, um livro era reprovado, um relatório era elaborado e destinado às editoras e autores. Tais relatórios eram ainda revisados por nove especialistas e as resenhas incluídas no guia eram relidas por dez especialistas. Nessa primeira avaliação, destinada ao PNLEM de 2007, dos vinte livros de Biologia inscritos pelas editoras e analisados, nove foram reprovados, porque apresentavam, dentre outros aspectos negativos, problemas com relação à correção e adequação conceitual e a exatidão da informação básica (EL-HANI; ROQUE, 2007; EL-HANI *et al.* 2007). De acordo com informações constantes no site do próprio MEC (MEC, <http://www.mec.gov.br>), esse programa atendeu a todos os estados brasileiros, com exceção do estado de Minas Gerais, que desenvolveu programa próprio.

Mais recentemente, uma nova equipe conduziu uma nova avaliação com uma nova inscrição de livros, dentro do chamado PNLD 2012, seguindo a prática já realizada pelo PNLD de realizar avaliações temporárias. O guia já se encontra pronto. No total, oito obras foram aprovadas (BRASIL, 2011).

Já nos Estados Unidos, há uma política de adoção de materiais didáticos diferenciada da acima descrita. Pesquisas bibliográficas complementadas com conversas informais com os professores entrevistados na primeira parte desta pesquisa e com docentes da Western Michigan University, bem como *e-mails* trocados com um funcionário do departamento de educação de Michigan, permitiram conhecer como o processo de adoção de livros didáticos vem ocorrendo nos EUA, e, especialmente, no estado de Michigan.

De acordo com os informantes, não existe no país uma avaliação nacional que seleciona livros a serem adotados pelas escolas, como ocorre no Brasil. A política de adoção de livros didáticos nos Estados Unidos da América não é unificada, sendo centralizada em alguns estados e não centralizada em outros, como no Estado de Michigan. Quanto aos estados que adotam a centralização, principalmente aqueles do Sul dos Estados Unidos, a literatura aponta que, historicamente, o processo se deu em decorrência da formação de grupos de diferentes interesses e opiniões sobre raça, gênero, condições sociais, industrialização e seus interesses na reforma e no aumento do poder do Estado (APPLE, 1991).

Ainda segundo os informantes, sendo atualmente a escolha dos livros didáticos utilizados no estado de Michigan descentralizada, quem a realiza de fato são os próprios professores, os quais podem optar por qualquer livro existente no mercado, não se restringindo a uma lista de livros avaliados e aprovados pelo governo, como ocorre no Brasil. Entretanto, para que esses livros sejam realmente adotados, é preciso que o *School Board*, uma espécie de conselho escolar formado por membros da comunidade, aprove a adoção e realize a compra. Cada escola possui seu *School Board*, o qual tem um poder de decisão maior do que o do diretor escolar, intervindo inclusive na contratação da equipe escolar.

Entretanto, foi possível verificar, através da leitura dos documentos da American Association for the Advancement of Science (AAAS), que pesquisas foram realizadas envolvendo a avaliação de livros didáticos. A AAAS é uma instituição internacional sem fins lucrativos, fundada em 1848, que tem como objetivo o avanço da ciência (AAAS, <http://www.aaas.org>). Dentre as várias atividades dessa associação, em 1985, foi lançado o programa *Project 2061* (Projeto 2061) que visa à instrução de todos os estadunidenses nas áreas de Ciências, Matemática e Tecnologia, através da condução de pesquisas, elaboração de ferramentas e provimento de serviços que podem ser utilizados por educadores, pesquisadores e formuladores de políticas para prover o sistema educacional estadunidense (Project 2061, <http://www.project2061.org>).

Uma das áreas de pesquisa do Project 2061 concentra-se no estudo de materiais curriculares. De acordo com Kesidou e Roseman (2002), o projeto desenvolveu uma análise de materiais curriculares para o ensino de Matemática, Álgebra e Ciências. O propósito da análise realizada era verificar se os livros estavam contribuindo para o alcance dos objetivos de aprendizagem. Dentre os critérios de avaliação, era verificado se esses materiais deixavam clara sua proposta para os alunos, se levavam em consideração os conhecimentos prévios que esses estudantes possuem, se proviam uma variedade de fenômenos e representações para facilitar a compreensão de temas mais abstratos, se guiavam a interpretação e o raciocínio do aluno e se ajudavam os professores a desenvolverem um ambiente de aprendizagem propício.

Foram avaliados materiais destinados à *Middle School* (nível correspondente do 6.º ao 8.º ano escolar) e à *High School* (nível correspondente ao Ensino Médio, do 9.º ao 12.º ano escolar). Quanto aos livros destinados à *High School*, foram analisados, em particular, livros de Biologia. A respeito dos conteúdos relacionados às bases moleculares da hereditariedade, na grande maioria das vezes os livros avaliados eram classificados como regulares ou ruins

quanto à sua adequação aos critérios analisados (PROJECT 2061, <http://www.project2061.org>).

Diante dos resultados dessas pesquisas, foram realizadas a partir de 2001 três conferências visando ao provimento dos materiais didáticos, contando com a participação de editores, autores e educadores, e em 2002 o Project 2061 anunciou o desenvolvimento do Center for Curriculum Materials in Science (Centro para Materiais Curriculares em Ciências), o qual teria como tarefa transformar os livros didáticos destinados ao K-12 (a educação do Kindergarten (Educação Infantil) até o 12.º ano escolar). Essa iniciativa teve suporte financeiro da National Science Foundation (Fundação Nacional para a Ciência) e contou com a colaboração de universidades, como a University of Michigan e a Michigan State University, e escolas públicas de algumas cidades, dentre as quais as cidades de Detroit e Lansing, ambas localizadas no estado de Michigan. O objetivo era trabalhar no desenvolvimento de materiais, na especialização de educadores e na oferta de cursos de pós-graduação e pós-doutorado para a formação de especialistas na área. O projeto permitiu o desenvolvimento de uma série de pesquisas relacionadas ao tema (CCMS, <http://www.sciencematerialscenter.org>; PROJECT 2061, <http://www.project2061.org>).

Tais esclarecimentos iniciais visam a contextualizar os materiais aqui analisados. A composição da amostra será a seguir comentada na seção 3.1.2.

### **3.1.2 Seleção e obtenção da amostra de livros didáticos a serem analisados**

A amostra de livros analisada, aqui chamada de *amostra selecionada*, trata-se de um recorte de uma amostra mais ampla chamada de *amostra geral*, esta constituída de treze livros: os nove livros aprovados na avaliação do PNLEM/2007 e os quatro livros utilizados pelos professores estadunidenses entrevistados (APÊNDICE N e APÊNDICE O). Esse recorte foi necessário para que a dimensão da amostra tornasse viável uma análise com o grau de detalhamento e os cuidados desejados.

### 3.1.2.1 A amostra selecionada no contexto brasileiro

Quanto aos livros didáticos brasileiros para o Ensino Médio, optou-se por analisar os livros de Biologia aprovados pela avaliação do Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (APÊNDICE N). Julgou-se essa amostra pertinente, pois viabilizaria a análise de livros que foram distribuídos pelo Ministério da Educação para serem utilizados nos últimos anos em escolas públicas de todo o Brasil.

Essa amostra foi composta tanto por exemplares em volume único como de exemplares formados por três volumes. Para obtê-la, enviaram-se *e-mails* para professores de Ensino Médio conhecidos, os quais emprestaram os seus materiais para que as páginas a serem analisadas fossem digitalizadas. Dessa forma, a digitalização facilitaria o acesso do material para consulta em qualquer momento da pesquisa, mesmo após sua concretização, e facilitaria seu transporte.

Dos nove livros aprovados pelo PNLEM, selecionaram-se três para serem analisados; utilizando-se do critério da máxima variação (PATTON, 1990), procurou-se analisar materiais que tivessem em seu conjunto diferentes qualidades. Para tanto, baseando-se nos resultados do próprio PNLEM, apresentados por El-Hani e Roque (2007), selecionaram-se para composição da amostra: um livro dentre aqueles que tivessem maior número de qualidades positivas (LDA, quinze qualidades), um livro que tivesse o menor número de qualidades positivas (LDC, duas qualidades) e um livro cujo o número de qualidades positivas correspondente à moda dos dados considerados, ou seja, que tivesse o número de qualidades positivas que foi mais frequente entre tais livros avaliados (LDB, seis qualidades). A análise, no caso das três obras selecionadas, realizou-se a partir do exemplar do professor.

### 3.1.2.2 A amostra selecionada no contexto estadunidense

Durante as entrevistas, os professores da *High School* foram questionados sobre quais livros didáticos estão utilizando com seus alunos. Eles mencionaram quatro diferentes livros. Dois livros (LDK e LDJ) foram obtidos nas bibliotecas da Western Michigan University,

tendo seus conteúdos coletados para análise. Um terceiro exemplar (LDL) foi comprado, por não estar dentre os livros disponíveis nessas bibliotecas. A análise, no caso do LDK, ocorreu sobre o exemplar do professor, levando-se em consideração as informações presente no mesmo. No caso do LDJ e LDL, mesmo após contato com a editora só foi possível obter o exemplar do aluno. A chave de identificação dos livros estadunidenses analisados encontra-se no APÊNDICE O.

### 3.1.2.3 Validação da amostra analisada: anúncio

Seguindo-se alguns procedimentos metodológicos, a *amostra selecionada* foi validada com relação à *amostra geral*. Para melhor compreensão da metodologia utilizada, sua descrição será realizada posteriormente à descrição da metodologia de análise dos livros, mais especificamente na seção 3.1.6, página 212.

## 3.1.3 A bibliografia de referência

### 3.1.3.1 Levantamento da bibliografia de referência

Para verificar como os conteúdos de Genética são apresentados pelos livros didáticos e a relação de aproximação e distanciamento que mantêm com o conhecimento produzido pela Academia, utilizou-se como representante uma bibliografia de referência. Para tanto, escolheu-se a bibliografia adotada pelo curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo no ano de 2009, a qual se caracteriza por ser oficialmente aprovada pelo Conselho de Graduação e mencionada nas ementas oficiais das disciplinas desse curso.

Para realizar o levantamento dessa bibliografia, consultaram-se as referidas ementas disponíveis no *site* <[www.sistemas.usp.br](http://www.sistemas.usp.br)> (Acesso em 25 mai. 2009). Procurou-se consultar

as ementas de todas as disciplinas relacionadas aos tópicos de Genética, Biologia Molecular e Evolução. O APÊNDICE J mostra quais são essas disciplinas e seus respectivos códigos.

Consultando as ementas, listou-se toda a bibliografia nelas constante que poderia ser utilizada nesta pesquisa como bibliografia de referência (ANEXO C). Optou-se por utilizar as edições mais recentes, disponíveis no acervo das bibliotecas da Universidade de São Paulo, devido à sua atualização; as versões em inglês, para evitar problemas decorrentes da tradução; e, quando necessário, as versões em português, por facilitarem a comparação de termos cientificamente utilizados no mesmo idioma e também a citação de trechos que apresentam os conteúdos aos quais se pretendem comparar com os livros didáticos.

A bibliografia básica da disciplina *BIO0203 Genética* (GRIFFITHS *et al.*, 2008b) foi adotada como a principal bibliografia de referência. Por esse motivo, optou-se por realizar o seu estudo crítico, detalhado na seção 3.1.3.3.

Entretanto, apesar de se utilizar uma bibliografia como principal referência, duas outras obras encontradas na lista aqui mencionada foram consultadas para cada conteúdo analisado. Outras obras também eram utilizadas quando um distanciamento entre o conteúdo presente na principal obra de referência e o no livro didático era identificado ou quando essa principal obra de referência não continha informações suficientes para a comparação de um determinado conhecimento.

### 3.1.3.2 A bibliografia de referência e sua função na avaliação dos distanciamentos

A metodologia aqui utilizada não verifica a transposição didática entre o *saber ensinado* e o *saber sábio*, e sim o distanciamento entre o *saber ensinado* e o *saber de referência*, considerando a importância da *transposição didática* abordada por Chevallard (1991).

Há a consciência de que existe um distanciamento entre o *saber sábio* e o *saber de referência*, o qual é também fruto de uma transposição didática. Entretanto, a opção de utilizar o *saber de referência* para realizar a presente análise se encaixa nas intenções deste trabalho.

Se a presente pesquisa tivesse como objetivo analisar como o *processo* dessa transposição ocorreu, seria mais adequado procurar fontes provenientes do *saber sábio* e

várias fontes provenientes da transposição didática, e realizar a comparação entre tais documentos, buscando as origens do *saber ensinado*.

Entretanto, o objetivo da desta pesquisa não era esse. Pretendia-se aqui analisar livros didáticos procurando verificar o rigor científico presente nos conhecimentos apresentados nesses materiais, mas levando em conta que o processo de transposição didática é necessário.

Caso também se optasse por verificar esse rigor utilizando também fontes próprias do *saber sábio*, como as publicações científicas provenientes das investigações realizadas por vários pesquisadores, seria necessário consultar vários materiais, tendo a consciência de que cada um deles apresenta apenas parte da história do conhecimento produzido pela ciência para aquele conteúdo, e que entre eles podem existir contradições. Isso certamente seria demasiadamente trabalhoso e desnecessário para o propósito da presente pesquisa.

Preferiu-se, portanto, utilizar para a verificação desse rigor um *saber de referência* representado por uma *bibliografia de referência*, utilizada na academia para a formação de futuros bacharéis e licenciados. Tais obras têm a vantagem de serem compostas de conhecimentos sistematizados por seus autores com base no *saber sábio*. Sua transposição é geralmente marcada pela compilação e síntese de diversos conhecimentos provenientes de vários trabalhos científicos e pela intenção de clarificação desses conhecimentos.

Por essa sistematização estar associada a uma transposição didática, poderia conter o que Chevallard chama de *disfunções inadequadas*, o que seria um problema na utilização de tais obras para verificar o rigor presente nos livros didáticos. Entretanto, tais bibliografias de referência podem ser grandes agilizadoras e facilitadoras desse processo, permitindo que mais conteúdos possam ser analisados em um período menor de tempo, ao servir como síntese e suprimir ao pesquisador todo o trabalho investigação de reconstituição do conhecimento a partir de artigos científicos. Para isso, é necessário tomar determinados cuidados na consideração de seu conhecimento.

Alguns dos elementos podem contribuir para se ter certa confiabilidade no saber presente em tais bibliografias de referência e se ter uma visão crítica de suas possibilidades e limitações, os quais serão abordados na próxima seção.

### 3.1.3.3 Estudo crítico da bibliografia de referência adotada

Para minimizar problemas com relação ao rigor do conhecimento apresentado pela obra de referência adotada com relação ao conhecimento científico, procurou-se realizar um estudo crítico da principal bibliografia adotada: *Introdução à Genética*, 9. ed., a mais recente no momento do início da análise, de Griffiths *et al.* (2008b).

Para tanto, vários elementos em conjunto foram considerados para verificar a confiabilidade da obra e ter uma visão crítica de suas possibilidades e limitações.

Um dos fatores considerados foi o fato de essa bibliografia ter sido aprovada por um Conselho de Graduação de uma conceituada universidade. Esse fator sozinho pode não implicar que essa seja a melhor referência, mas é um elemento significativo.

Três dos docentes entrevistados na primeira parte desta pesquisa, que utilizam ou utilizaram a obra, foram questionados sobre a sua confiabilidade. Eles disseram que, durante os anos que utilizaram a obra, não evidenciaram falta de rigor dela com o conhecimento científico. Eles mencionaram que confiam na qualidade das informações ali apresentadas e elogiaram a qualidade do material. Os dois docentes que ainda utilizam a obra mostraram-se muito satisfeitos com ela e julgaram que é uma excelente bibliografia para referência. Já o docente que a deixou de utilizar diz que foi por razões didáticas, mas que julga confiáveis os conhecimentos expressos pelos autores. A opinião de tais entrevistados é também significativa, já que são especialistas na área e estão em constante contato com o saber sábio produzido.

Outro recurso utilizado foi a consulta paralela a outras obras da lista de bibliografias adotadas pelas disciplinas acadêmicas (conforme explicado na seção 3.1.3.1), procurando-se verificar se havia contradições entre elas. As obras consultadas são: Alberts *et al.* (2008), Alberts *et al.* (2010), Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), Lodish *et al.* (2007), Vogel e Motulsky (1996) e Watson *et al.* (2008). Cabe observar, porém que, para viabilizar a descrição dos resultados apresentados na seção 3.2, geralmente as citações realizadas no texto da tese foram retiradas da principal bibliografia de referência, apesar de outras obras também terem sido consultadas, optando-se por fazer menções dessas demais bibliografias quando um distanciamento era identificado, quando a principal obra de referência não apresentava suporte para a comparação de um determinado conhecimento ou quando se encontrava contradição entre essa obra e as demais consultadas.

Para o estudo crítico da principal referência, também se optou por se apoiar em estudos acadêmicos envolvendo a análise de bibliografias de referência na mesma área. Mesmo que os livros analisados nesses trabalhos não fossem os mesmos adotados nesta pesquisa como referência, os resultados apresentados pelos pesquisadores podem revelar conteúdos questionáveis dentro de livros elaborados para o mesmo nível acadêmico, que possivelmente também estejam presentes na obra utilizada.

O trabalho de Pitombo, Almeida e El-Hani (2007), por exemplo, apresenta resultados parciais de sua pesquisa que investiga como o conceito de gene aparece em livros-texto de Biologia Celular e molecular utilizados como referência em cursos de Ensino Superior. O avanço do conhecimento na área de Genética vem trazendo recentemente uma série de desafios para o conceito de gene. Entretanto, os autores verificaram que o conceito clássico molecular de gene e o conceito informacional ainda são amplamente utilizados pelos livros analisados. Apesar de a análise do conceito de gene não ser o foco do presente trabalho, é inevitável não abordá-lo quando se estão analisando os temas aqui selecionados.

Sobre o mesmo assunto, considerou-se também o trabalho de Flodin (2009), que mostra como há diferentes conceitos de gene, os quais podem variar de acordo com o desenvolvimento do uso do termo, com a evolução do conhecimento e com a disciplina no qual o termo é utilizado. Ao analisar um livro-texto sobre Biologia geral destinado à formação no Ensino Superior, a autora também encontrou diferentes conceitos de gene. Em sua pesquisa, não procurou julgar as categorias de conceito de gene identificadas como mais ou menos corretas, nem colocá-las em uma hierarquia. Mas conclui sua análise dizendo que o problema é que tais concepções de gene não aparecem de forma articulada, podendo dessa forma gerar confusões. Como a presente pesquisa não pretende realizar uma análise do modo de apresentação dos conteúdos nos livros de referência ou nos livros didáticos de Ensino Médio, a preocupação aqui não será com a conexão do conteúdo, mas elementos levantados pela autora quanto ao desenvolvimento do conceito de gene foram considerados.

Ainda para favorecer o estudo da principal bibliografia de referência, realizou-se uma entrevista com um de seus autores, para compreender o processo de produção da obra de modo, a garantir uma visão crítica sobre ela.

#### 3.1.3.4 Entrevista com um dos autores da principal bibliografia de referência

Procurando elementos que possibilitem um olhar mais crítico perante a bibliografia de referência selecionada, procurou-se entrevistar pessoalmente um de seus autores, Dr. Richard Charles Lewontin, coletando informações que permitissem compreender seu processo de elaboração e a consistência de seu conteúdo. Esse autor foi escolhido por ser um dos que estão há mais tempo participando do processo de edição do livro e por estar situado dentro do território dos Estados Unidos, país onde parte desta pesquisa estava sendo realizada, o que favorecia seu acesso. Inicialmente, o entrevistado foi contactado por *e-mail* e o propósito da entrevista foi esclarecido. Elaborou-se um protocolo com as perguntas a serem realizadas, disponível no APÊNDICE K, e um Termo de Consentimento Livre Esclarecido, conforme modelo no APÊNDICE L. A entrevista foi presencial, realizada no escritório do autor, na Harvard University. Devido ao objetivo da entrevista e ao fato de o entrevistado ser identificado e não anônimo, elaborou-se um termo de consentimento livre esclarecido diferenciado e garantiu-se ao entrevistado o direito de rever as transcrições antes de sua publicação e realizar alterações, se julgasse necessário.

Para evitar ler as perguntas durante o momento da entrevista e para facilitar sua rápida recordação, caso fosse necessário, algumas palavras-chave foram destacadas no texto das questões, de modo que, ao rapidamente olhar para elas, fosse fácil lembrar a pergunta a ser realizada. Além disso, também foram adotados os mesmos cuidados de conduta utilizados nas entrevistas com os demais docentes e professores, tais como: o estabelecimento de uma relação cordial com o entrevistado, o esclarecimento das informações presentes no termo de consentimento livre esclarecido, o agradecimento da sua participação, a memorização anterior das questões, a solicitação de autorização para gravação de áudio, o evitar realizar muitos registros escritos e perder o olhar do entrevistado e o evitar responder a questão pelo entrevistado.

Procurou-se coletar informações sobre como se constituiu a escolha dos autores, sobre a interação desses durante a elaboração do livro, sobre o processo de desenvolvimento da obra em si e a respeito da relação de seu conteúdo com o saber científico.

A entrevista foi transcrita e analisada. Os resultados da análise foram enviados juntamente com a transcrição para ciência do entrevistado, o qual autorizou sua publicação e

respondeu positivamente quanto ao conteúdo da análise e das transcrições. A transcrição completa encontra-se no APÊNDICE M. Os dados coletados e a análise realizada encontram-se na próxima seção.

#### 3.1.3.4.1 Resultados da análise da entrevista

Ao analisar a entrevista, identificaram-se aspectos importantes que contribuem para justificar a pertinência da adoção da obra como referência para a presente pesquisa.

Primeiramente, foi possível verificar que Lewontin tem um amplo conhecimento sobre o processo de elaboração desse livro, pois participou como autor em todas as edições, com exceção da primeira<sup>47</sup>: “(00:01:52) This book is now in the ninth edition and the tenth one is been prepared now. But I was not an author in the very first edition”.

De acordo com o entrevistado, a obra foi escrita não somente por um autor, mas sim por um grupo de autores, cada qual especialista em uma área:

(00:01:52) (...) The first edition was by two authors only, they were two Canadians and one of them is still an author, Griffiths, he is one of the two original authors. But after the first edition was published and became clear that the book was of some interest, they thought: “Well, we really need to have some expert on Evolutionary Genetics and Population Genetics”. (...) But they felt that they had to bring in someone who was more modern in some aspects of the relationship between gene and the cell and so on. So they brought, in the third edition already, Jeffrey Miller, who was a kind of molecular developmental geneticist.

Como Lewontin comenta, essa composição do grupo de autores é construtiva para a elaboração do livro, pois tratam-se de especialistas de várias subáreas relacionadas à Genética, os quais, segundo afirma, dialogam criticamente durante o processo de elaboração da mesma:

(00:55:38) I think that the way that this book is written and the whole relationship among the authors is a very constructive way to deal with a textbook. Namely that

---

<sup>47</sup> No momento da entrevista, no final do ano de 2009, o autor revelou, porém, que não participaria mais como autor nas próximas edições.

no author can feel free from the criticism from the other authors. So that laziness is not appreciated. (...) But it means that the book is a living moving involving book that has a better chance of being up-to-the-minute and current and so on, than one book which the one author in particular or maybe two authors are writing over over over again the same stuff. (...) So there was a learning on both sides and I think that is very important, because genetics is a very very broad complicated subject I do not know any geneticist living who could sit down and write a really good textbook about genetics.

O autor comenta que, durante o desenvolvimento do material, o grupo está sempre muito criticamente preocupado com o trabalho de cada indivíduo e, ao mesmo tempo, de toda equipe. Quando o grupo não está satisfeito com o trabalho de um de seus colegas, este pode ser pressionado a deixar o grupo:

(00:10:35) And then the book developed from that, there are many changes of authorship as a consequence of the fact that the group of authors in one time became dissatisfied with what the previous group of authors had been doing, and pressure was put on an author to move out. (...) (00:12:08) And we replaced them for somebody else. (...) And that is important you understand, this is the book in which all the authors are essentially writing particular chapters, but the other authors are looking to see whether they satisfied with what has been written. (...).

Lewontin também menciona que o livro tem sido adotado como referência por várias universidades e já foi considerado entre os mais vendidos. Atualmente possui ainda um amplo mercado na Europa e na América do Sul. Isso mostra a credibilidade que os docentes das universidades têm dado para essa obra:

(00:4:00) And the book became a very big success, it was one of the most popular books used for university genetics courses. (...)  
(00:20:43) So at the Harvard usually biology students take Genetics either as a second or third year students and this is the book that they would use. And for a long time, I do not know now, but for a long time it was the leading book selling, I mean, the book that sold the most over the United States and it still has a very large market in Europe and South America. (...).

Foi possível também obter informações sobre a seleção dos conteúdos desse livro. Segundo o entrevistado, não há uma justificativa comum entre os autores para os conteúdos selecionados. Cada autor insere no livro o que considera importante para a sua área. O que eles pensam que é importante é geralmente influenciado pelas ideias da comunidade de pesquisadores, suas leituras e o que consideram que os alunos devem saber:

(00:29:04) (...) Each author had a view of what was important in Genetics, partly based on the current state of the research in Genetics. And each had that view which

was different from what the other thought. So I would have arguments for the other people saying well I think is not so important, that it is more important. And what I would argue about it, It was strongly influenced by the research community into which each author fell, what those people read, what they thought that the students should know, and, as I say, we try to reach some compromise and agreement, but I do not think I could answer more specifically than that.

Porém, afirma que a seleção desses conteúdos não está baseada no que os estudantes de graduação deveriam saber para se tornarem futuros professores da *High School*:

(00:30:42) Pesquisadora: And do you think that you and the other authors have some preoccupation about the students that are studying to become teachers at High School?

(00:31:05) Autor: No, we did not think about that particular point.

Entretanto, a escolha dos conteúdos leva em conta aquilo que os usuários do livro consideram importante, já que os autores recebem um retorno desses usuários por meio de questionários:

(00:31:05) (...) we had questionnaires sent up to students who had taken the course and used the book, and asked a lot of questions about what is difficult to understand, what are the most difficult things, what are the easiest things, what interested you, what did not interested you and what you thought that you would like to know and we did not tell you and so on.

Esses questionários mostram que há capítulos do livro que são mais usados do que outros, o que revela um pouco o que os docentes consideram importante ensinar:

(00:31:05) And there was a big difference between different chapters and how much they were used in the genetics courses. (31:57) (...) I can tell you, but the chapters of Evolutionary and Population Genetics were the least used of all the chapters. I can tell you, but the chapters on Evolutionary and Population Genetics were the least used of all the chapters. If the professor would have no time the one thing that he would leave behind, leave out, was Evolutionary Genetics and Population Genetics. First of all, the Population Genetics chapter and the Population Genetics in general requires a certain amount of knowledge about statistics and ability to manipulate simple mathematical expressions and so most students do not like that and can't do it.

Outros livros de referência também podem influenciar a escolha dos autores por determinados conteúdos:

(00:39:20) (...) Now, sometimes I would hear from one of the other authors: "Well we know a new textbook of Genetics that has appeared which is a possible

competition for our textbook, and they have a lot of material on subject X, and I think that we should have more material on subject X than we now have". (00:40:15) So other textbooks of Genetics would suggest to us, and the questionnaires that we send up to teachers would suggest to us what we should change in the book, what we should add to the book.

Sobre o processo de transposição didática envolvido no desenvolvimento da obra, o entrevistado não soube dizer quais os recursos que todos os autores usam para escrever o livro. Entretanto, acredita que seus colegas, assim como ele, são fortemente influenciados pelos periódicos acadêmicos e por suas próprias experiências como especialistas e docentes na área:

(00:38:14) That is a very hard question for me. When I am writing a particular section, for example on localizing genes that are related to the quantitative characters, I would look in the literature for people who had written papers saying: "I wanted to know where the genes were, how they were influencing this quantitative and continuous character, so I did this, I did that and I did that and I did that". And then I read those technical papers which tell me what these people have been reading what they thought about, what the current methods were. (...) I cannot speak for my fellow authors. I do not know what sources they used. Again I have the strong impression that most of the inputs that they may introduce in their chapters were reflections of what they were reading in the technical journals. I think that the technical journals had a very big influence. (...) But most of it is what we have in our heads about the subject. (...) After all, all the authors of this book are teachers and they have been teaching Genetics. (...) (00:41:53) So a lot of sources comes out of their lecture notes, what they think that is important. I do not know what more to say. Each author is familiar with the developments in the technical literature of their field and they developed an attitude and view of what is important in their field, what is the most important, new discoveries have been, and they try to insert that into the next edition of the book.

O autor diz que as discussões realizadas entre os autores geralmente não são devido à correção das informações do livro. Eles, por vezes, discordam entre si na escolha dos conteúdos, na ordem e no uso da linguagem. O entrevistado também afirma que o livro não tem sido acusado de ter informações consideradas erradas:

(00:43:48) (...) when we talk about disagreement are about the content nobody among the authors and anybody has ever said to us what we wrote was wrong. (...) None of my fellow authors disagree with my claim that the environment is important but they thought that "Just put that aside. We do not care about that". (...) (00:44:50) And they use a language that is very common: "Genes make something, genes make proteins". But genes do not make proteins, genes do not make anything. I always use to say, or that the DNA is self reproduced (...) (00:45:12) My fellow authors would say without thinking DNA self-reproduces. Every time I thought that phrase "self reproduce", I would complain and say "you know what you mean when you say DNA self reproduces, but the students will not understand".

Segundo Lewontin, os autores também estão sempre preocupados em ter um livro com informação atualizada. Entretanto, pode acontecer de ocorrer alguma desatualização entre uma edição e outra, devido a novos conhecimentos gerados no período entre as edições:

(00:52:55) It is entirely possible that in the current edition of such book we say: “we do not know about this”. But the time that the book is published we now know. So that statement will be false until the next edition. But then, in the next edition the new information would appear.

(00:53:55) Well definitely the chapter on Quantitative Genetics which I was responsible for needs a major reorganization and updating. (...) I am sure that the new chapter in the new book will have a lot of information about newer techniques involving DNA sequences, that are used in finding the genetic bases of quantitative categorization. They need that.

O entrevistado não acredita que as informações presentes no livro podem ser foco de discordância quanto a sua validade. Ele afirma que a diferença dessa obra com relação a outras publicadas por outros autores não seria de ordem conceitual, e sim relacionada à escolha dos conteúdos: “(00:52:55) (...) But most of the differences of our book and other books is a question of what is regarded as important or not important”.

Quanto ao uso dessa obra como referência para o presente trabalho, diz que se deve ter em consideração que o livro apresenta metáforas. Essas podem ser entendidas por especialistas, porém, quando presentes nos livros de Ensino Médio podem não ser tão facilmente compreensíveis:

(01:06:04) There are scientific papers written by the people who do the research and they give talks in scientific meetings. All of that material then is translated by the authors of such textbook into a level of discourse which they think that is correct for their consumers, namely the students. (...) But in that process of moving from the research papers to the scientific textbook big work is done about point of view, about/ and specially in using metaphors. Metaphors are extremely important in writing and they appear all the time and I want to emphasize because it goes next to the next High school textbook. What people say when they are speaking to audience 1 is understood by that audience in different way than when they say exactly the same thing to audience 2. So, if a molecular geneticist says that this gene makes that protein, and that geneticist is speaking to an audience of molecular geneticists, those molecular geneticists are familiar with the whole sequence of knowledge which is not stated in that statement: “Genes X make that”. They think from genes to the transcription for the RNA, from the RNA into protein, and so on. But if that same statement is made to a more general audience, they cannot do that. And they hear the words exactly as they are said “genes make the proteins”. And always we are facing this problem of communication. Now part of the struggle about writing this book is to make sure that the book explains in great detail, what actual mechanisms are contained in the statement “gene makes protein” or “gene determines that character”. This book now is used as a basis for writing a High school textbook, the same language gets put in “genes determine the character”, “DNA makes the organisms”, “DNA makes protein” or “determines the protein”. And all the details

are gone. Details which the reader would have to have in order to be able to turn that metaphor of the DNA as self-reproducing, all the information which is in my head when I say that, would not be in the head of high school students who read that statement. And the result is that as you move down in the level of sophistication of knowledge the meaning attributed to certain statement by the consumer of those changes. And the result is that most people that take biology course in high school level think that if I know your genes, I know everything about you because it was what they have learned. Because it was what their textbook said. Why did that textbook say that? Because the writer of that textbook read this book. Why did the writer of this textbook say that? Because, yes, if you read all the word of the textbook you will understand all the steps. (01:10:35) So I think the problem of the metaphor is extremely important in understanding what high school students take out of their textbooks, what those textbooks took out of the textbooks that their writers used to write, and what the writers of the textbook got from literature and so on. So I think that it is a very very important issue in your research. Mainly how the results of the research are translated into knowledge in the mind of high school students. And not forget that between that research and those high school students there is this book and the High school textbook, and so on so far. One has to be very very careful about that. For me, I think that it is the most important issue is to understand the structure of the language and the metaphor.

A presente pesquisa apontou metáforas presentes nos dois contextos, mas procurou não realizar maiores explorações sobre a sua pertinência nos livros de Ensino Medio, pois isso exigiria não apenas ter conhecimento da metáfora em si, mas também de como elas são introduzidas, o que entraria em discussões referentes às metodologias utilizadas pelos livros didáticos e à conexão entre os conhecimentos abordados, as quais não são foco da presente pesquisa.

O autor ainda afirma que, em sua opinião, o livro não necessita de alterações referentes à sua correção. Entretanto, considera que o texto relacionado à Genética quantitativa merecia, no momento, atualização, devido a novas técnicas e novos marcadores moleculares utilizados. Portanto, se essa pesquisa fosse analisar tal conteúdo, seria importante utilizar uma bibliografia complementar nesse caso:

(00:53:30) Pesquisadora: So in a next edition, about the correction of the content, do you think that it is necessary to change something or not?

(00:53:55) Autor: Well definitely the chapter on Quantitative Genetics which I was responsible for needs a major reorganization and updating. It is very old-fashioned. And I wrote a totally new updated chapter which used techniques that have not been discussed in the previous editions, which has more information about molecular markers, and so on. (...) And it was done because my fellow authors put pressure on me to do that. They said: "Look this chapter is old-fashioned. There has been a lot more work than you suggest, finding the genes that are related to the development of the changes, that are related to quantitative, and you really need to make that chapter better and more up-to-date". And I agreed and I did that. They will not use that chapter now. They will have someone to do that, but I am sure that the new chapter in the new book will have a lot of information about newer techniques involving DNA sequences, that are used in finding the genetic bases of quantitative

categorization. They need that. The book needs that. But the book does not say anything wrong is only just behind the times.

Desse modo, as informações provenientes das entrevistas trouxeram novos elementos que permitiram verificar as potencialidades e limitações da obra. Esses e os outros aspectos anteriormente mencionados levaram à consideração de que tal bibliografia favoreceria o alcance do objetivo desejado na presente pesquisa, apesar de a consulta de outras obras também ter sido necessária.

### 3.1.4 Conteúdos analisados

Diante dos resultados das outras entrevistas realizadas na primeira parte desta pesquisa, procurou-se dar prioridade à análise dos conteúdos mencionados como básicos com mais frequência pelos entrevistados brasileiros, por ser o contexto de maior interesse para essa pesquisa.

Como anteriormente tratado, dentre eles estavam: o conteúdo *Divisão celular*, dentro do qual *Meiose* foi o mais frequentemente mencionado; o conteúdo *Padrões de herança*, particularmente a *Primeira e Segunda Lei de Mendel*; e um terceiro conteúdo, *Genética Molecular*, principalmente conteúdos relacionados ao *DNA*, destacando-se *Síntese Proteica (ou Expressão Gênica)*.

Baseando-se em tais resultados, os conteúdos selecionados aqui para análise foram *Meiose, Primeira e Segunda lei de Mendel e Síntese Proteica (ou Expressão Gênica)*.

#### 3.1.4.1 Delimitação da área de análise dentro dos livros

Primeiramente, definiram-se as unidades de análise. Estabeleceu-se que cada uma corresponderia à seção do livro específica para o conteúdo selecionado ou, na sua ausência, aos tópicos relacionados a outros temas em que se podem encontrar informações relacionadas ao conteúdo sobre o qual se pretende investigar. Quando este estava presente mais de uma

vez, em diferentes volumes, analisou-se apenas a seção atrelada aos tópicos sobre Genética, como ocorreu com meiose no LDA. Entretanto, no caso de *Expressão gênica*, no volume que trata de Genética, o LDA apresenta apenas algumas informações relacionadas ao processo de transcrição e se concentra mais no processamento do RNA. Desse modo, nesse caso específico preferiu-se avaliar o conteúdo presente no volume 1, que apresenta mais informações sobre o processo de transcrição e tradução.

Definidas as unidades de análise conforme os critérios acima, procurou-se analisar todos os conhecimentos referentes ao conteúdo que elas apresentassem, fracionando cada frase do texto, considerada aqui como *unidade de contexto*, em informações a serem comparadas com a bibliografia de referência, as quais foram consideradas como *unidades de registro*<sup>48</sup>. Por exemplo, na frase “[...] No processo de produção do RNA, denominado transcrição gênica, as duas cadeias do DNA se separam e uma delas serve de molde ao RNA; [...]” (LDA, v. 1, p. 250), foram identificadas três unidades de registro: 1) “O processo de síntese de RNA é denominado transcrição”; 2) “Para a transcrição, é preciso que as duas cadeias de DNA se separem”; 3) “O RNA é produzido a partir de um molde de DNA”. É também importante deixar claro que a mesma informação foi registrada como unidade de registro apenas uma vez no mesmo livro, independentemente de ser repetida pelo autor.

Alguns elementos, todavia, não foram considerados na análise, conforme descrições apresentadas nos parágrafos seguintes.

No caso do conteúdo *Leis de Mendel*, o foco da análise não foi nos diferentes exemplos de experimentos realizados, nem elementos próprios da História da Ciência, e sim na explicação em torno de tais padrões de herança. Portanto, consideraram-se apenas as informações dos experimentos mendelianos, seus resultados e interpretações essenciais para entender as leis da hereditariedade creditadas a Mendel. Não se pretendeu analisar se essas leis e os elementos a elas atribuídos foram ou não propostos por Mendel. Entretanto, cabe salientar que muitos dos elementos considerados pelos livros didáticos e livros de referência pertinentes a elas não estão expressos na obra do autor, e sim foram propostas por seus

---

<sup>48</sup> Conforme descrito durante a metodologia de análise das entrevistas (página 45) as *unidades de registro*, segundo Bardin (2007), são unidades de significação, as quais se caracterizam como segmentos da mensagem que farão parte da contagem frequencial; já as *unidades de contexto* são segmentos do texto, no caso uma ou mais frases, que servem de unidade para codificar a unidade de registro, possibilitando sua compreensão.

sucessores, tais como William Bateson e Wilhem Johanssen (ver, por exemplo, FREIRE-MAIA 1995; JUSTINA *et al*, 2010; MARTINS, 2002, 2006). Tais elementos não serão foco desta análise, com exceção de dois momentos, nos quais, para se compreender a relação de proximidade e distanciamento entre os materiais analisados e a bibliografia de referência, precisou-se utilizar de alguns conhecimentos da História da Ciência<sup>49</sup>.

Quanto ao conteúdo *Meiose*, baseando-se na opinião dos docentes e professores entrevistados, não foi foco desta análise a denominação das fases. Procurou-se apenas analisar a descrição e ordem dos processos.

A análise ainda restringiu-se apenas ao texto dos livros didáticos, não incidindo sobre os exercícios, atividades e imagens. Estas últimas não foram consideradas por se tratar de elementos iconográficos, que exigiriam outros cuidados de análise.

Entretanto, alguns conhecimentos estavam expressos nas bibliografias de referência apenas na forma de figuras, como, por exemplo, alguns resultados dos cruzamentos mendelianos. Nesses casos, foi necessário utilizar tais imagens da referência na comparação com os conhecimentos expressos nos textos dos livros didáticos, já que não havia disponível outra opção.

As atividades e o manual do professor foram apenas considerados para verificar se os autores apresentavam informações que alertassem o aluno ou o professor quanto a um distanciamento propositalmente expresso.

Quando um distanciamento era identificado, dependendo do caso, outros capítulos do livro eram consultados, para verificar se, no conjunto das informações apresentadas, o conhecimento se aproxima da referência. Entretanto, em muitos casos, considerou-se que, mesmo que uma informação próxima ao conhecimento da referência estivesse presente em outro local do livro, isso poderia não reverter o efeito do distanciamento. Isso pode se dar devido ao fato de a nova informação não estar perto o suficiente do conhecimento distanciado, ou pelo fato de o distanciamento contradizê-la, podendo deixar o aluno confuso.

Por fim, cabe mencionar que não foram encontrados na bibliografia de referência conhecimentos que permitissem a análise de algumas *unidades de registro*, as quais não foram consideradas na contagem frequencial e encontram-se no ANEXO D, para consulta. A

---

<sup>49</sup> Como será visto mais adiante, na seção 3.2.2.8, página 243, e seção 3.2.3.5, página 260.

maioria delas são referentes ao conteúdo *Meiose* e correspondem a informações relacionadas mais à área de Citologia do que à área de Citogenética; por isso a sua não-presença nos livros de referência selecionados para esta análise.

### 3.1.5 Metodologia de análise

Para estimar como os conhecimentos presentes nos livros didáticos se distanciam e se aproximam do conhecimento de referência, seria, então, utilizada e refinada uma metodologia desenvolvida colaborativamente em pesquisas anteriores (BIZZO; DEL CARLO; FRANZOLIN; NARCISO JR., 2007; DEL CARLO, 2007; FRANZOLIN, 2007; LEMOS, 2009; NARCISO-JUNIOR, 2008). Essa permite tanto apontar conhecimentos que estão distantes do conhecimento científico como considerar a necessidade dos distanciamentos para a compreensão do aluno em seu desenvolvimento etário.

A metodologia trata da comparação entre o conhecimento presente nos materiais didáticos e aqueles presentes na bibliografia de referência. Entretanto, ao concordar com Chevallard (1991) que o conhecimento escolar é constituído pela transformação do objeto de saber em objeto de ensino, propomos neste trabalho uma nova forma de considerar essa transposição didática durante a análise de materiais didáticos.

Neste novo olhar, o essencial é que se considera, nesta metodologia, que o conhecimento escolar está sujeito a duas fontes de influências. Uma seria o *laxismo*, que tende a distanciar o conhecimento a ser ensinado do conhecimento científico, visando deixá-lo mais acessível àquele que aprende. A outra influência seria o *rigorismo*, que tende a se opor a essa tendência, aproximando o conhecimento a ser ensinado do conhecimento científico, buscando sua correção e compromisso com os cânones científicos. Ambas influências são essenciais na constituição do conhecimento escolar e atuam conjuntamente, tendendo a deslocar o conhecimento em sentidos opostos. A ausência de uma delas poderia gerar conhecimentos inacessíveis para quem aprende ou descompromisso com o conhecimento aceito pela comunidade científica.

Sofrendo a ação dessas duas forças, o conhecimento ensinado na escola se distancia do conhecimento de referência. Esse distanciamento pode ser de duas categorias:

Uma delas seria o *distanciamento vertical*, o qual é originado pela transposição didática do conhecimento para cada nível de ensino, sendo necessário para facilitar o aprendizado para alunos de diferentes faixas etárias. É constituído, portanto, pelo *componente pedagógico*. Na figura 1, o distanciamento vertical está representado por uma dimensão central (reta  $v$ ), e todos os conhecimentos (representados por pontos) que seriam nele inseridos podem ser provenientes de um distanciamento dessa categoria.

O outro tipo seria o *distanciamento horizontal*, que se caracteriza como *componente didático*, sendo um artifício utilizado por quem ensina com o objetivo de facilitar a aprendizagem, como o uso de analogias e metáforas, mas não está necessariamente relacionado ao componente etário-acadêmico. Na figura 1, conhecimentos provenientes dessa categoria são representados por pontos que se distanciam horizontalmente da dimensão central (representado pela reta  $v$ ).

Ambos os tipos de distanciamento certamente são importantes para que o aprendizado ocorra. Entretanto, existem limites de aceitabilidade sobre o quanto um conhecimento a ser ensinado pode ou não se afastar do conhecimento de referência. A definição desses limites não é fixa e inflexível, dependendo do olhar epistemológico de quem realiza a análise.

Esses limites de aceitabilidade dos distanciamentos são mais amplos na base do sistema educativo e se restringem progressivamente. Isso remete à imagem de um cone de aceitabilidade, representado na figura 1. Dentro dele, estão representados os *distanciamentos aceitáveis* sob o olhar de quem os analisa, pois os considera importantes ou necessários para que a aprendizagem ocorra.

Fora desse cone estão representados os considerados *distanciamentos não aceitáveis*, pois, além de não serem necessários para a faixa etária do aluno, podem dificultar seu aprendizado. Podem estar fora desse cone, por exemplo, aqueles conhecimentos considerados como erros conceituais ou incorreções, as quais se diferenciam do erro conceitual por não impedirem que posteriormente o aluno construa um conceito correto.

Como se pode notar na figura 1, a base do cone possui um maior diâmetro, pois nas séries iniciais da escolarização há a uma necessidade maior do componente didático, que visa a tornar o conhecimento mais adequado à capacidade de compreensão própria da faixa etária do aluno. A pedagogização do conhecimento, considerado em nosso quadro teórico como um distanciamento vertical, é considerada um componente próprio ao ensino da ciência nos anos iniciais da escolarização. O cone se estreita ao longo dos níveis de ensino, pois os alunos se

tornam capazes de aprender conteúdos progressivamente menos didatizados e, portanto, mais próximos da versão canônica do conhecimento científico, ou seja, que sofrem mais a ação do *rigorismo*. Uma determinada transposição didática pode ser necessária para que ocorra o aprendizado no Ensino Fundamental; entretanto, o conhecimento a ser ensinado se torna progressivamente mais rigoroso em níveis superiores de escolarização.

Dessa forma, é também possível que um determinado conhecimento transposto didaticamente possa estar localizado no espaço interior do cone durante o Ensino Fundamental, sendo considerado como um *distanciamento aceitável* (exemplificado na figura 1 pelo ponto  $e_1$ , na faixa do Ensino Fundamental). Entretanto, esse mesmo conhecimento pode ser caracterizado como um *distanciamento não aceitável* se ocorrer no Ensino Médio, considerado não mais necessário para que a aprendizagem ocorra ou mesmo podendo dificultá-la (exemplificado na figura 1 agora pelo ponto  $e_2$ , localizado na faixa do Ensino Médio).

Não se deve confundir a figura mencionada com um elemento prático utilizado durante a análise aqui pretendida. Na verdade, ela serve apenas para ilustrar a ideia principal que faz a metodologia aqui adotada se diferenciar de outras metodologias de análise de livros didáticos. Essa diferença ocorre pelo modo como são vistos os distanciamentos dos conhecimentos presentes nos livros didáticos com relação ao conhecimento de referência.

Portanto, não se pretende nesta análise identificar “erros” em livros didáticos e tratá-los todos da mesma forma. A figura ilustra diferentes tipos de flexões conceituais, aqui denominadas “distanciamentos”, e nem todas elas podem ser consideradas negativas ou mesmo “erros conceituais”. Há aqueles que são necessários para a aprendizagem ocorrer e há aqueles que, por outro lado, poderão trazer prejuízos para a atuação social futura do aluno como cidadão.

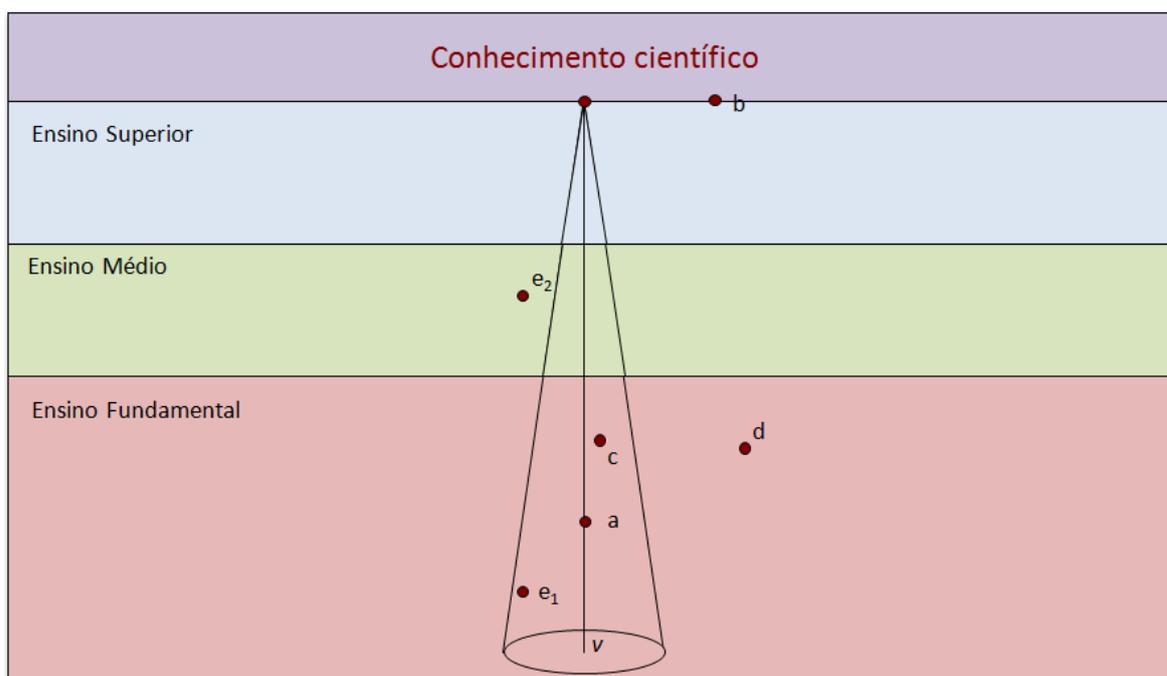


Figura 1 - Representação de possíveis tipos de distanciamento encontrados entre os conhecimentos ensinados nos diferentes níveis de ensino e aqueles apresentados pela referência. Verifica-se que estão representadas três faixas distintas de conhecimentos, sendo uma correspondente aos conhecimentos ensinados no Ensino Fundamental, outra correspondente aos conhecimentos ensinados no Ensino Médio e, finalmente, a correspondente aos conhecimentos ensinados no Ensino Superior. Cada ponto destacado representa um conhecimento dentre muitos outros ensinados. A dimensão representada pela linha  $v$  refere-se ao componente etário acadêmico, onde estão localizados os *distanciamentos verticais*, decorrentes da *pedagogização*. O ponto  $a$  refere-se a um conhecimento que se distancia verticalmente da ciência de referência (ponto no pico do cone). O ponto  $b$  refere-se a um conhecimento que se distancia *horizontalmente* da referência, pois é decorrente da *didatização*. Os pontos  $c$  e  $d$  referem-se a conhecimentos ensinados no Ensino Fundamental que se distanciam verticalmente e horizontalmente da referência. Entretanto,  $c$ , por ser considerado um conhecimento que sofre um *distanciamento aceitável*, encontra-se dentro do cone, e  $d$ , ao ser caracterizado por ter um *distanciamento não aceitável*, encontra-se fora do cone. Já o ponto  $e_1$  representa um conhecimento que, ao ser ensinado no Ensino Fundamental, é também considerado como um conhecimento que possui um *distanciamento aceitável*, pois é proveniente de uma transposição didática necessária ao nível de ensino correspondente. Entretanto, devido ao maior rigorismo no Ensino Médio, esse mesmo conhecimento, representado agora pelo ponto  $e_2$ , é representado fora do cone, pois seu distanciamento não é mais considerado aceitável ao ser ensinado nesse nível de ensino

Desse modo, o cone serve para ilustrar que, durante a análise pretendida, considerar-se-á que a rigidez com que um conteúdo deve se aproximar do conhecimento científico não é igual em materiais voltados para diferentes níveis de ensino. Os níveis mais elementares da educação requerem adaptações, ou seja, distanciamentos maiores, para facilitar a compreensão do aluno, enquanto níveis superiores admitem distanciamentos menores. Em suma, a imagem do cone explicita a ideia de diminuição da necessidade de distanciamentos com a progressão dos estudos, contrapondo-se a uma imagem implícita de um cilindro de maior ou menor diâmetro.

Dessa forma, não se pretende adotar o cone representado como um instrumento de medida, e sim utilizá-lo como um modelo que ilustra os princípios envolvidos na metodologia aqui adotada.

Portanto, essa ilustração pretende mostrar que a metodologia aqui adotada visa a considerar que os distanciamentos não possuem sempre a mesma natureza e que alguns podem ser mais necessários do que outros, ao mesmo tempo em que se reconhece a necessidade de impor limites a eles.

A análise desenvolvida nesta pesquisa não se dedicou à discussão sobre a natureza horizontal e vertical dos distanciamentos identificados, e sim optou por considerá-los em categorias referentes ao seu tipo e à sua implicação.

Quanto aos tipos de distanciamentos, a presente pesquisa resolveu classificá-los nas seguintes categorias:

- *Termo equivalente* (TE): Uso de termos sinônimos;
- *Metáfora* (MT): Expressões utilizadas em sentido diferente do usual devido à sua analogia ou semelhança ao que está tentando explicar;
- *Distância Conceitual* (DC): Conceito utilizado de forma que seu significado não condiz com aquele apresentado pela referência;
- *Distanciamento na descrição de processo* (DDP) – Descrição de processo distante daquela apresentada pela referência;
- *Generalização da ocorrência* (GO) – Atribuição de um conhecimento particular a um contexto geral;
- *Conteúdo não atualizado* (CNA) – Conhecimento considerado próximo do conhecimento científico em determinado momento de sua história, mas contemporaneamente distante.

Quanto às categorias de implicações dos distanciamentos, identificaram-se as seguintes possibilidades:

- *Facilitadores para o conhecimento* (f): Importantes para a compreensão do conteúdo que está sendo ensinado;

- *Mantenedores da essência do conhecimento* (m): Não são necessários para a facilitar a compreensão do conhecimento, mas também não a afetam negativamente;
- *Entraves à compreensão de conhecimentos pontuais* (ep): causam a não-compreensão de um conhecimento específico, apesar de não interferirem negativamente na compreensão de um conhecimento central;
- *Entraves à compreensão de conhecimentos centrais* (ec): dificultam ao aluno a compreensão de um conhecimento central para o entendimento de um conteúdo;
- *Entraves à compreensão de conceitos centrais com graves implicações sociais pessoais* (ecg): trazem prejuízos graves para o aluno, podendo colocar sua integridade física ou psicológica em risco. Exemplos desse último tipo são aqueles encontrados em livros excluídos pelo PNLD, tais como instruções erradas de primeiros socorros para acidentes ofídicos, que colocavam as vítimas em risco, ou afirmações de que a síndrome da imunodeficiência adquirida (AIDS) se propaga por qualquer contato físico (BIZZO, 2000).

A partir de tais implicações, pode-se dizer que os distanciamentos *facilitadores para o conhecimento* e os *mantenedores da essência do conhecimento* estão entre aqueles *aceitáveis*, que poderiam ser representados dentro do cone apresentado na figura 1, enquanto os distanciamentos que se caracterizam como *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais*, *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* e *entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais* estariam entre aqueles *não aceitáveis*, e poderiam ser representados fora do cone.

A sensibilidade da metodologia de análise não pretende estabelecer juízos definitivos sobre conteúdos de livros didáticos, mas realizar, em bases comparativas, um escrutínio da proximidade de partes do livro didático em relação à bibliografia de referência.

Desse modo, diferentes análises feitas por diferentes pesquisadores, ou mesmo por um mesmo pesquisador em diferentes épocas, chegarão a resultados distintos. Portanto, o que chamamos distanciamento é um construto que guarda grande dependência do processo de análise em si, ligado ao indivíduo que o realiza, às suas concepções pessoais e às concepções e valores do contexto social no qual o processo é realizado. Em suma, um mesmo livro

didático pode ser analisado com essa metodologia e conduzir a resultados diferentes, em diferentes sociedades, épocas ou por diferentes indivíduos.

Portanto, esta pesquisa também se caracteriza como um estudo epistemológico. Os julgamentos envolvidos na análise e seus resultados estão relacionados ao olhar de quem investiga, o qual está inserido numa esfera de conhecimento particular.

### **3.1.6 Descrição da metodologia de validação da amostra selecionada**

Para a validação *amostra selecionada* de livros didáticos (conforme explicações já realizadas nas seções 3.1.2 e 3.1.2.3, páginas 189 e 191), foram escolhidos alguns distanciamentos para serem verificados também na *amostra geral*. Para tanto, se estabeleceram alguns critérios.

Optou-se primeiramente por selecionar dois distanciamentos para cada um dos três conteúdos (Meiose, Leis de Mendel e Expressão Gênica), devendo ambos terem sido identificados na *amostra selecionada* e classificados como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* (ec), além de serem distanciamentos relacionados com as ideias centrais dos conteúdos. Desses, um deveria estar dentre aqueles presentes em um menor número de livros analisados, e outro, dentre os identificados em um maior número de livros.

Entretanto, como os distanciamentos dessa categoria (ec) estavam presentes em números similares ou iguais de livros analisados na *amostra selecionada*, e ainda foram identificados em poucos materiais, optou-se por também incluir na análise distanciamentos que estivessem presentes numa quantidade maior de livros, independentemente da categoria em que se encontravam. Com esse segundo critério, foi selecionado mais um distanciamento para cada conteúdo, totalizando nove distanciamentos a serem analisados (apresentados no APÊNDICE P).

Tais critérios permitiram que fossem escolhidos distanciamentos presentes em frequências diferentes nos livros analisados, possibilitando que as frequências de uma amostra pudessem ser comparadas com a outra.

Desse modo, pretendia-se verificar como os dados da *amostra selecionada* se comportavam com relação aos dados da *amostra geral*.

Para verificar a relação entre a frequência relativa de distanciamentos da *amostra selecionada* (Fs) e a frequência relativa de distanciamentos da *amostra geral* (Fg) utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (TRIOLA, 2008), obtido com o Programa SPSS, versão 15 para Windows.

O coeficiente de correlação foi escolhido com base em duas informações, também obtidas através da utilização do mesmo programa estatístico: 1) a tendência linear, crescente e positiva verificada com a elaboração do gráfico de dispersão que mostra a distribuição das duas variáveis em comparação (Fs e Fg); e 2) o resultado do teste de normalidade de Shapiro-Wilk (ZAR, 1999) para a variável (Y=Fg) mostrando um comportamento de uma distribuição normal, como será visto na descrição dos resultados na seção na seção 3.2.6, página 382.

Posteriormente, procurou-se obter um modelo estimado de regressão linear simples:

$$\hat{y} = \hat{\beta} X + \hat{a} \text{ (ou equação de 1.º grau),}$$

onde:

$\hat{a} \rightarrow$  é a constante estimada do modelo (ou intercepto coeficiente linear) e

$\hat{\beta} \rightarrow$  é o coeficiente angular estimado do modelo.

Considerando:

Fg (=Y) como variável dependente (desfecho da pesquisa)

Fs (=X) como variável independente (explicativa)

Como a suposição de normalidade para Y não foi rejeitada, utilizou-se o método de mínimos quadrados (MORETTIN; BUSSAB, 1981), por meio do programa SPSS, para montar um modelo estimado para representar as duas variáveis.

Os resultados referentes à validação serão descritos após a apresentação dos resultados da análise com a amostra selecionada, na seção 3.2.6, página 382.

## 3.2 RESULTADOS

Inicialmente, é importante esclarecer que alguns recursos foram utilizados para facilitar a compreensão da descrição dos dados pelo leitor desta tese.

Os conhecimentos analisados foram divididos em seções, cada qual constituída, geralmente, por uma (ou poucas) unidade(s) de registro, ou seja, por apenas uma informação analisada. Julgou-se esse procedimento importante para facilitar a menção de como cada informação aparecia em cada livro didático. Algumas seções parecem tratar da mesma informação, mas é importante atentar sobre a diferença entre elas, pois, apesar de sutil, deve ser considerada para manter o rigor da análise. Por exemplo, as informações abordadas nas seções 3.2.1.34 “Os cromossomos ligam-se às fibras do fuso” e 3.2.1.35 “As fibras do fuso ligam-se ao centrômero de cada cromossomo homólogo” são próximas, mas não são as mesmas. A primeira seção fala apenas da ligação dos cromossomos às fibras do fuso, enquanto a segunda fala da ligação das fibras aos cromossomos ao centrômero de tais cromossomos.

Algumas citações são repetidas durante o texto. Primeiramente, isso se tornou necessário, pois para que o leitor compreendesse o novo trecho citado, era preciso mencioná-los em conjunto com outros trechos anteriormente já transcritos, garantindo a integridade da informação. Em segundo lugar, procurou-se evitar que o leitor tivesse que voltar constantemente às seções anteriores para encontrar um texto já citado, dificultando a leitura deste trabalho.

A seguir desenvolve-se a descrição dos resultados referidos a área de conteúdo analisada.

### **3.2.1 Divisão celular – Meiose<sup>50</sup>**

#### **3.2.1.1 Meiose como divisão celular**

---

<sup>50</sup> Ao leitor que consulta parcialmente a presente tese, recomendamos a leitura das considerações realizadas no início da seção 3.2, página 214

Quanto à meiose, a referência afirma ser um tipo de divisão celular e nuclear:

In addition, most eukaryotes have a sexual cycle, and, in these organisms, specialized diploid cells called meiocytes are set aside to divide to produce sex cells such as sperm and egg in plants and animals or sexual spores in fungi or algae. Two sequential cell divisions take place, and the two nuclear divisions that accompany them are called meiosis. Because there are two divisions, four cells are produced. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 42).

Assim como a referência, o LDA também se refere à meiose como um processo de divisão celular:

Em 1885, o biólogo alemão August Friedrich Leopold Weismann (1834-1914) propôs uma hipótese para explicar a constância do número de cromossomos de uma geração para outra. Ele previu, acertadamente, que, na formação dos gametas, devia ocorrer um tipo diferente de divisão celular, em que o número de cromossomos das células-filhas seria reduzido à metade. Esse processo é atualmente conhecido como **meiose** (LDA, v. 3, p. 8).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ e LDK (ANEXO E).

### 3.2.1.2 Meiose como divisão nuclear

Conforme citação presente na seção 3.2.1.1, Griffiths *et al.* (2008b) também afirmam que meiose é um tipo de divisão nuclear.

O LDJ também se aproxima da referência ao mencionar que a meiose se caracteriza como processo de divisão nuclear: “Meiosis is a process of nuclear division that reduces the number of chromosomes in new cells to half the number in the original cell. [...]” (LDJ, p. 161).

### 3.2.1.3 Na meiose ocorre a redução do número de cromossomos

A referência explica que, na meiose, o número de cromossomos é reduzido pela metade: “[...] the two successive meiotic divisions that take place during the sexual stage of the life cycle have the net effect of halving the number of chromosomes. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 52).

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.1, o LDA aproxima-se da referência ao também dizer que, na meiose, o número de cromossomos é reduzido pela metade.

A mesma aproximação foi encontrada nos LDB, LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO E).

#### 3.2.1.4 A meiose ocorre no ciclo de vida de organismos

Segundo a referência, a meiose ocorre durante o ciclo de vida de organismos humanos, plantas e fungos. A legenda de uma figura apresenta esta informação: “[...] The life cycles of humans, plants, and fungi, showing the points at which mitosis and meiosis take place. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 43)

Alberts *et al.* (2008) também dizem que esse processo faz parte do ciclo de vida dos animais. Na legenda da figura “21–3 Haploid and diploid cells in the life cycles of some complex and simple eucaryotes”, os autores afirmam:

The haploid cells are cells in most animals and plants usually proliferate in the diploid phase to form a multicellular organism; only the gametes (eggs and sperm in animals) are haploid, and they fuse at fertilization to form a diploid zygote, which develops into a new individual (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1270).

O LDK aproxima-se da referência ao também dizer que o ciclo de vida dos animais envolve a meiose: “The sexual life cycle in animals involves meiosis, which produces gametes” (LDK, p. 271).

#### 3.2.1.5 Meiose: Formação de células sexuais

Como se pode verificar na citação presente na seção 3.2.1.1, de acordo com a referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b), na meiose são produzidas células sexuais, tais como espermatozoides e ovócitos nas plantas e nos animais ou esporos em fungos ou algas.

O termo *gameta* (*gamete*) é também mencionado pela referência em outros momentos: “A visão de Mendel da segregação igual era que os membros de um par de genes segregam-se igualmente na formação de gametas” (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 35) ou “Mendel’s view of equal segregation was that the members of a gene pair segregated equally in gamete formation. He did not know about the subcellular events that take place when cells divide in the course of gamete formation. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 42).

Desse modo, verifica-se, na citação mencionada na seção 3.2.1.1, que o LDA aproxima-se da referência ao também dizer que durante o processo de meiose ocorre a formação de *gametas*.

A mesma aproximação foi evidenciada nos LDB, LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO E).

O LDC também utiliza o termo *células reprodutoras* (reproductive cells) no lugar de *células sexuais* (sex cells) utilizado pela referência: “Nos animais, a meiose origina os gametas (células reprodutoras). [...]” (LDC, p. 105).

O mesmo termo, porém, é utilizado por Alberts *et al.* (2008) com o mesmo significado:

Life depends on the ability of cells to store, retrieve, and translate the genetic instructions required to maintain a living organism. This *hereditary* information is passed on from a cell to its daughter cells at cell division, and from one organism to the next through the organism’s reproduction cells (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 195).

### 3.2.1.6 A meiose ocorre em organismos que possuem reprodução sexuada

Segundo Alberts *et al.* (2008), a meiose ocorre em organismos que se reproduzem através da reprodução sexual:

Most eucaryotic organisms reproduce sexually: the genomes of two parents mix to generate offspring that are genetically distinct from either parent [...]. Sexual reproduction depends on a specialized nuclear division process called meiosis,

which produces haploid cells carrying only a single copy of each chromosome (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1090).

Os autores ainda dizem que esse tipo de divisão celular é um requisito para que a reprodução sexuada ocorra: “[...] Sexual reproduction, therefore, requires a specialized type of cell division called *meiosis*, in which a diploid precursor cell gives rise to haploid progeny cells, rather than to diploid cells as occurs in ordinary mitotic cell division” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1269).

O LDK aproxima-se da referência ao dizer que a meiose ocorre em organismos que se reproduzem sexuadamente: “[...] Meiosis occurs in the reproductive structures of organisms that reproduce sexually” (LDK, p. 271).

O LDA também se aproxima da referência ao dizer que a meiose é universal nos processo de reprodução assexuada: “Diversas espécies estudadas nos primeiros anos do século X mostraram que a meiose é um processo universal e ocorre em todos os organismos com reprodução sexuada [...]” (LDA, v. 3, p. 10).

### 3.2.1.7 A meiose ocorre nas estruturas reprodutivas dos organismos

De acordo com Alberts *et al.* (2008), em animais, a meiose ocorre nos ovários e testículos:

The finding also implied that haploid germ cells arise from a special kind of cell division in which the number of chromosomes is precisely halved. This type of division, called *meiosis*—the Greek word for diminution or lessening—begins in animals in diploid germ-line cells in the ovaries or testes. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1272).

Como se pode verificar na citação apresentada da seção 3.2.1.6, o LDK também se aproxima da referência ao dizer que a meiose ocorre nas estruturas reprodutivas dos organismos que se reproduzem sexuadamente.

### 3.2.1.8 A meiose ocorre em células germinativas

De acordo com Alberts *et al.* (2008), as células germinativas são os gametas haploides e as células que lhes dão origem:

**germ cell**

A cell in the germ line of an organism, which includes the haploid gametes and their specified diploid precursor cells. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. G-15).

Como verificado na seção 3.2.1.5, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), a meiose é formadora de gametas.

Portanto, considerando os conhecimentos apresentados por ambas as referências, pode-se dizer que se o processo de divisão celular produz gametas, ele ocorre em células da linhagem germinativa.

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a meiose ocorre em células germinativas: “As células que dão origem a gametas são denominadas células germinativas” (LDA, v. 3, p. 8).

### 3.2.1.9 A meiose ocorre em células diploides e forma células haploides

Griffiths *et al.* (2008b) afirmam que o processo de meiose ocorre em células diploides, dando origem a células haploides: “[...] Meiosis takes place only in diploid cells, and the cells that result (sperm and eggs in animals and plants) are haploid. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 42)

O LDA se aproxima da referência ao também mencionar que o processo de meiose se dá a partir de uma célula diploide e que origina células haploides: “[...] a partir da célula com quatro cromossomos ( $2n$ , ou diplóide) que iniciou o processo, formam-se quatro células com dois cromossomos ( $n$ , ou haplóides)” (LDA, v. 3, p. 10).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ e LDL (ANEXO E).

Já o LDK, apresentando parte desta informação, também se aproxima da referência ao comentar que a meiose permite a produção de células haploides (ANEXO E).

3.2.1.10 Células produzidas na meiose podem se juntar posteriormente, formando um organismo com um conjunto completo de cromossomos (diploide)

Complementando o trecho parcialmente citado na seção 3.2.1.6, verifica-se que, segundo Alberts *et al.* (2008), as células haploides produzidas podem-se unir para formar um indivíduo diploide, ou seja, com as duas cópias homólogas de cada cromossomo que são geralmente encontradas nos organismos diploides:

Most eucaryotic organisms reproduce sexually: the genomes of two parents mix to generate offspring that are genetically distinct from either parent [...]. The cells of these organisms are generally diploid: that is, they contain two slightly different copies, or homologs, of each chromosome, one from each parent. Sexual reproduction depends on a specialized nuclear division process called meiosis, which produces haploid cells carrying only a single copy of each chromosome. In many organisms, the haploid cells differentiate into specialized reproductive cells called gametes—eggs and sperm in most species. In these species, the reproductive cycle ends when a sperm and egg fuse to form a diploid zygote with the potential to form a new individual. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1090).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que as células formadas pelo processo de meiose podem se unir, formando uma célula diploide com o conjunto completo de cromossomos próprio do organismo diploide: “[...] Each new cell has the potential to join with another haploid cell to produce a diploid cell with a complete set of chromosomes” (LDJ, p. 155).

3.2.1.11 A replicação cromossômica antecede a meiose

A referência diz que, antes da meiose, ocorre a replicação cromossômica: “Before meiosis, as in mitosis, chromosome replication takes place to form sister chromatids, which

become visible at meiosis. The centromere appears not to divide at this stage, whereas it does in mitosis. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 43-44).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que ocorre um processo de replicação cromossômica antes do início da meiose: “[...] No início da meiose, cada cromossomo está constituído por dois filamentos (cromátides-irmãs) unidos pelo centrômero, indicando que antes da divisão começar ocorreu duplicação cromossômica [...]” (LDA, v. 3, p. 8).

A informação de que há a replicação dos cromossomos anteriormente ao início da meiose é também mencionada pelos LDB, LDC, LDJ e LDK e LDL (ANEXO E).

Entretanto, o LDA, como é possível verificar no trecho anteriormente mencionado, utiliza o termo *duplicado* em vez de *replicado* ou *replication*, como faz a referência. Em outros tópicos do livro, como no tópico *Duplicação ou replicação semiconservativa do DNA*, refere-se como sinônimo de *duplicação* o termo *replicação*. Griffiths *et al.* (2008a) utilizam o termo *duplicação* com outro sentido. O índice remissivo dessa obra (p. 704) apresenta o termo *Duplicações cromossômicas* remetendo à página 494. Nessa página, há um tópico intitulado *Duplicações* (ou *Duplications*, GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 578), que trata de cópias extras de regiões cromossômicas ocorridas em processos de mutação, constituindo a chamada *duplicação em tandem* ou *duplicação insercional*:

#### Duplicações

Os processos de mutação cromossômica às vezes produzem uma cópia extra de alguma região cromossômica. As regiões duplicadas podem ser situadas adjacentes uma à outra, chamada de **duplicação em tandem**, ou a cópia extra pode estar situada em outra parte do genoma, chamada de **duplicação insercional**. Uma célula diplóide contendo uma duplicação terá três cópias da região cromossômica em questão: duas em um conjunto cromossômico e uma no outro, um exemplo de duplicação heterozigota. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 494).

A descrição utilizada no glossário confirma o mesmo sentido: “Duplicação: Mais de uma cópia de determinado segmento cromossômico em um conjunto cromossômico” (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 672).

Porém, tanto na versão em português quanto na versão em inglês, Alberts *et al.* (2008 e 2010) utilizam o termo *duplicação* com o mesmo sentido mencionado pelo LDA.

Primeiramente, os autores comparam a replicação cromossômica que ocorre na meiose com a da mitose: [...] At the beginning of meiosis, as in mitosis, the chromosomes have replicated their DNA (in meiotic S phase), and the two copies are tightly bound together by

*cohesin complexes* along their entire length (see Figure 17–24) and are called sister chromatids (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1272-1273).

Em outro momento, ao tratar do ciclo celular, e mais especificamente sobre a mitose, os autores afirmam:

The most basic function of the cell cycle is to duplicate accurately the vast amount of DNA in the chromosomes and then segregate the copies precisely into two genetically identical daughter cells. These processes define the two major phases of the cell cycle. Chromosome duplication occurs during S phase (S for DNA synthesis), which requires 10-12 hours and occupies about half of the cell-cycle time in a typical mammalian cell. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1054).

Assim, os LDA, LDB e LDC aproximam-se de Alberts *et al.* (2008 e 2010), ao utilizarem o termo *duplicar* com o mesmo sentido que *replicar* utilizado pelos demais livros consultados e pela principal referência (ANEXO E).

O LDJ não utiliza nem o termo *duplicação* e nem o termo *replicação*. Para expressar a mesma ideia, utiliza os termos *copiar* (to copy) e *sintetizar* (to synthesize): “[...] During the S phase, the cell’s DNA is copied (synthesized). [...]” (LDJ, p. 155).

O termo *copiar* (ou *to copy*, na versão de língua inglesa) é também utilizado pela referência:

[...] Whatever the physical basis of that system of information passage might be, it must have four properties: **2. Ability to replicate.** [...] There must be some mechanism of replication for copying the information-bearing structure so that it can be passed from parent to offspring. (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 2).

O termo *sintetizar* também é utilizado pela referência que, ao apresentar uma visão geral da replicação do DNA, diz:

[...] A DNA pol III atua na **forquilha de replicação**, a zona onde a dupla hélice está se desenrolando. Entretanto, como a DNA polimerase sempre adiciona nucleotídios na *ponta 3’ crescente* apenas um dos dois filamentos de polaridade inversa pode servir como molde para a replicação. Para esse filamento, a síntese pode ocorrer de modo contínuo no sentido da forquilha; o novo filamento sintetizado nesse molde é chamado **filamento contínuo (leading)**. (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 238).

[...] DNA pol III acts at the **replication fork**, the zone where the double helix is unwinding. However, because DNA polymerase always adds nucleotides at the 3’ *growing tip*, only one of the two antiparallel strands can serve as a template for replication in the direction of the replication fork. For this strand, synthesis can take

place in a smooth continuous manner in the direction of the fork; the new strand synthesized on this template is called the **leading strand**. (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 279-280).

Já o LDK se aproxima da referência ao também utilizar o termo *replicar*: “[...] Cells in interphase carry out various metabolic processes, including the replication of DNA [...]” (LDK, p. 272).

Essa mesma aproximação foi encontrada no LDL (ANEXO E).

### 3.2.1.12 Os centrômeros não se dividem durante a primeira divisão da meiose

Conforme citação mencionada na seção 3.2.1.11, Griffiths *et al.* (2008b) dizem que não se evidencia a *divisão* dos centrômeros para a primeira divisão da meiose.

O LDC aproxima-se da referência ao dizer que nessa primeira divisão da meiose não ocorre *duplicação* dos centrômeros: “[...] Como não ocorre duplicação dos centrômeros, as cromátides-irmãs seguem juntas para o mesmo pólo” (LDC, p. 106).

Griffiths *et al.* (2008b) apresentam figuras, 2.15 (p. 45-46) e 2.19 (p. 52), que ilustram o centrômero duplicado mas sem divisão.

### 3.2.1.13 Os cromossomos replicados possuem duas cromátides-irmãs

Segundo a referência, os cromossomos replicados constituem-se em um par de cromátides-irmãs: “[...] Although each homolog appeared to be a single thread in leptotene, the DNA had already replicated during the premeiotic S phase. This fact becomes manifest in diplotene as each chromosome is seen to have become a pair of sister chromatids. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 49).

O LDK aproxima-se da referência ao dizer que os cromossomos replicados na meiose possuem duas cromátides: “[...] As mitosis, the replicated chromosomes consist of two sister chromatids. [...]” (LDK, p. 272).

### 3.2.1.14 Os centríolos são duplicados na intérfase

De acordo com Alberts *et al.* (2008), os centríolos são duplicados antes, entre as fases G<sub>1</sub> e G<sub>2</sub> do ciclo celular:

The centrosome consists of a centriole pair and associated pericentriolar matrix [...]. At a certain point in G<sub>1</sub> the two centrioles of the pair separate by a few micrometers. During S phase, a daughter centriole begins to grow near the base of each mother centriole and at a right angle to it. The elongation of the daughter centriole is usually completed by G<sub>2</sub> (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1078).

Segundo os autores, essas fases pertencem à intérfase: “[...]. G<sub>1</sub>, S, and G<sub>2</sub> together are called **interphase**. [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, 1055).

O LDC aproxima-se da referência ao mencionar que os centríolos duplicam-se na intérfase: “Os centríolos, duplicados na intérfase, migram para polos opostos. [...]” (LDC, p. 105).

### 3.2.1.15 A meiose apresenta duas divisões celulares

Como se pode verificar na citação presente na seção 3.2.1.1, Griffiths *et al.* (2008b) mencionam que a meiose possui duas divisões celulares.

Aproximando-se da referência, o LDA também diz que a meiose possui duas divisões celulares:

Três citologistas merecem referência especial nos estudos pioneiros sobre os cromossomos na meiose: os biólogos alemães Theodor Heinrich Boveri (1862-1915) e Wilhem August Oskar Hertwig (1849-1922) e o biólogo belga Edouard van Beneden (1846-1912). Eles descobriram que, durante a formação dos gametas, ocorrem duas divisões celulares sucessivas, após uma única duplicação cromossômica, de modo que as quatro células-filhas formadas ficam com metade do número de cromossomos existente na célula original - como Weismann previu que deveria acontecer. Essas duas divisões consecutivas, semelhantes à mitose, compõem o processo de **meiose** (do grego *meiosis*, diminuição) (LDA, v. 3, p. 8).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ e LDL (ANEXO E).

#### 3.2.1.16 Cromátides-irmãs encontram-se unidas pelo centrômero no início da meiose

De acordo com Alberts *et al.* (2008), as cromátides-irmãs permanecem unidas pelos centrômeros durante toda a primeira divisão da meiose: “[...] Sister-chromatid pairs therefore remain linked at their centromeres throughout meiosis I [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1092).

O LDA se aproxima da referência ao dizer que as duas cromátides-irmãs estão unidas pelo centrômero no início da meiose: “No início da meiose, cada cromossomo está constituído por dois filamentos (cromátides-irmãs) unidos pelo centrômero [...]” (LDA, v. 3, p. 8).

#### 3.2.1.17 Os cromossomos homólogos se unem, realizando a sinapse

Segundo a referência, há, no início da meiose, a união dos pares de homólogos das cromátides-irmãs, num processo chamado sinapse.

[...] Also in contrast with mitosis, the homologous pairs of sister chromatids now unite to form a bundle of four homologous chromatids. This joining of the homologous pairs is called synapsis, and it relies on the properties of a macromolecular assemblage called the synaptonemal complex (SC), which runs down the center of the pair [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 44).

Para a referência, sinapse seria sinônimo de pareamento entre os cromossomos homólogos: “[...] Thus, each chromosome has a pairing partner, and the two become progressively paired, or synapsed, along their lengths” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 48).

O LDA se aproxima da referência ao se referir a esse emparelhamento entre os homólogos durante a primeira divisão da meiose: “Os cromossomos homólogos emparelham-se e condensam-se, tornando-se progressivamente mais curtos e grossos” (LDA, v. 3, p. 8).

Essa mesma aproximação foi encontrada no LDL (ANEXO E).

O LDB também se aproxima da referência quanto a esse conhecimento, mas além de utilizar o termo emparelhamento, utiliza o termo sinapse, também utilizado pela referência:

As células produzidas por meiose, a partir da divisão de uma célula  $2n$ , deverão conter a metade do número de cromossomos da célula-mãe, isso significa que elas terão apenas um cromossomo ao invés de um par de cada tipo de homólogo. O mecanismo que foi desenvolvido para efetuar essa escolha durante a prófase I, necessita de um reconhecimento e emparelhamento físico entre os cromossomos homólogos no período do zigóteno, chamado de sinapse cromossômica (LDB, p. 84).

Os LDC e LDJ apresentam essa mesma aproximação (ANEXO E).

O LDK também se aproxima da referência dizendo que os cromossomos homólogos entram em sinapse e, durante esse fenômeno, esses cromossomos mantêm-se estreitamente juntos ao longo de seu comprimento: “As the homologous chromosomes condense, they begin to form pairs in a process called synapsis. The homologous chromosomes are held tightly together along their lengths [...]” (LDK, p. 272).

### 3.2.1.18 A sinapse dos cromossomos homólogos acontece uma única vez na meiose

Ao descrever o processo de meiose, a referência fala de pareamento dos cromossomos homólogos apenas durante a primeira divisão da meiose. O mesmo não poderia ocorrer na segunda divisão, pois as células geradas na primeira divisão não possuem mais o par de homólogos e sim apenas um deles, ou seja, apenas uma díade:

[...] Meiosis can be summarized as follows:  
 Start: → two homologs  
 Replication: → two dyads  
 Pairing: → tetrad  
 First division: → one dyad to each daughter cell  
 Second division: → one chromatid to each daughter cell (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 46).

O LDB se aproxima da referência ao dizer que há uma ocorrência única de emparelhamento entre os homólogos na meiose: “Esse emparelhamento de cada cópia dos cromossomos materno e paterno é único na meiose. [...]” (LDB, p. 84).

3.2.1.19 Bivalente é uma unidade composta por dois cromossomos homólogos replicados em sinapse

A referência explica que a unidade formada por dois cromossomos homólogos duplicados, com suas duas cromátides, unidos em sinapse, é chamada de bivalente:

[...] Replicate sister chromosomes are together called a dyad (from the Greek word for two). The unit comprising the pair of synapsed dyads is called a bivalent. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 44).

O LDA também diz que, na sinapse, ambos os cromossomos homólogos formam um bivalente, aproximando-se da referência: “Os cromossomos homólogos emparelham-se e condensam-se, tornando-se progressivamente mais curtos e grossos. Cada conjunto formado pelos dois cromossomos homólogos duplicados e emparelhados é denominado bivalente, ou tétrade” (LDA, v. 3, p. 8).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB e LDC (ANEXO E).

3.2.1.20 As quatro cromátides dos homólogos replicantes em sinapse formam uma tétrade

Segundo a referência, as quatro cromátides unidas em sinapse são chamadas de tétrade:

The four chromatids that make up a bivalent are called a tetrad (Greek for four), to indicate that there are four homologous units in the bundle (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 44).

O LDA também se aproxima da referência ao dizer que os dois homólogos em sinapse são chamados de tétrade: “[...] Cada conjunto formado pelos dois cromossomos homólogos duplicados e emparelhados é denominado bivalente, ou tétrade” (LDA, v. 3, p. 8).

A mesma aproximação foi evidenciada nos LDC e LDJ (ANEXO E).

O LDL apresenta a mesma aproximação, não apenas por denominar a estrutura dos homólogos emparelhados como tetrade, mas também por mencionar a existência de quatro cromátides que a formam: “In prophase of meiosis I, however, each chromosome pairs with its corresponding homologous chromosome to form a structure called a **tetrad**. There are 4 chromatids in a tetrad” (LDL, 276).

### 3.2.1.21 Os cromossomos condensam-se

A referência explica que, no início da meiose, os cromossomos vão ficando visíveis, contraindo-se e ficando espessos:

Prophase I: Leptotene. The chromosomes become visible as long, thin single threads. Chromosomes continue to contact in leptotene and throughout the entire prophase. Small areas of thickening (chromomeres) develop along each chromosome, giving it the appearance of a necklace of beads (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 48).

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que, no início da meiose, ocorre a condensação dos cromossomos homólogos e que eles se tornam mais grossos: “Os cromossomos homólogos emparelham-se e condensam-se, tornando-se progressivamente mais curtos e grossos” (LDA, v. 3, p. 8).

Os LDC e LDK também se aproximam da referência ao referirem-se à ocorrência da condensação dos cromossomos (ANEXO E).

O LDJ diz que os cromossomos se espiralizam firmemente: “In prophase I, DNA coils tightly into chromosomes. [...]” (LDJ, p. 161).

Algumas informações apresentadas pelos livros didáticos com relação à meiose não são descritas pela referência, pois esta já as descreve quando aborda o processo de mitose e, portanto, ao abordar o processo de meiose, refere-se apenas aos elementos que distinguem ambos os processos:

Meiosis uses much of the same molecular machinery and control systems that operate in ordinary mitosis. In this chapter, however, we focus on the special features of meiosis that distinguish it from mitosis. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1272).

Ao falar sobre a condensação dos cromossomos durante a mitose, os autores também utilizam o termo *espiral (coil)* para explicar como ocorre esse processo: “The chromosomes from nearly all eucaryotic cells became readily visible by light microscopy during mitosis, when they coil up to form highly condensed structures” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 243). Ao descrever a meiose, os autores não apresentam elementos que diferenciam essa informação nos dois processos. Desse modo, o LDJ também se aproxima da referência ao mencionar que os cromossomos se *espiralizam* durante a divisão celular.

Já o LDB aproxima-se da referência ao dizer que os cromossomos já estão visíveis quando ocorre a sinapse: “[...] Cada homólogo duplicado durante a intérfase une-se a seu par pelas sinapses, formando um bivalente, que mostra quatro cromátides bem visíveis, isso já no paquíteno” [...]” (LDB, p. 84). A mesma aproximação é evidenciada no LDK (ANEXO E).

### 3.2.1.22 Durante a sinapse ocorre o *crossing over* ou permutação

Ao falar do processo de sinapse, a referência apresenta uma nota entre parênteses, dizendo que o processo de *crossing over* ocorre nesse momento: “(A parenthetical note. The process of *crossing over* takes place at this tetrad stage [...])” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 44).

O termo *permuta* também é utilizado na versão em português de Alberts *et al.* (2010), como correspondente ao termo *exchange* utilizado na versão em inglês. Em seu índice remissivo, o termo *crossing over* é remetido ao termo *recombinação homóloga*. Na seção sobre recombinação homóloga, os autores dizem que uma de suas funções é permitir a troca de segmentos de formação genética. Utilizando o termo *permuta*, afirmam:

Na **recombinação homóloga** (também conhecida como *recombinação geral*), a permuta genética ocorre entre um par de seqüências de DNA homólogas, isto é, seqüências de DNA com seqüências de nucleotídeos iguais ou similares. [...] (ALBERTS *et al.*, 2010, p. 304).

Tal trecho corresponde ao seguinte da versão em língua inglesa:

In **homologous recombination** (also known as general recombination), genetic exchange takes place between a pair of homologous DNA sequences, that is, DNA sequences similar or identical in nucleotide sequence. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 304).

O LDB também se aproxima da referência ao dizer que o *crossing over* ou permuta ocorre com a sinapse: “[...] Esse emparelhamento permite a permuta ou crossing-over, processo biológico no qual os cromossomos homólogos trocam segmentos de genes aumentando com isso a variabilidade (as diferenças) da espécie dos seres vivos. [...]” (LDB, p. 84).

Do mesmo modo, os LDC, LDJ, LDK e LDL se aproximam da referência ao também se referirem à ocorrência do *crossing over* durante a sinapse (ANEXO E).

### 3.2.1.23 Durante o *crossing over* as cromátides se entrecruzam

De acordo com Alberts *et al.* (2008), no início da meiose as cromátides dos homólogos se entrecruzam:

Linkages form between homologous by a remarkably complex and lengthy process that occurs after meiotic S phase, in a period called *meiotic prophase* or *prophase I*. [...] Homolog linkages are then locked in place by homologous recombination between nonsister chromatids in each homolog pair: DNA double-strand breaks are formed at several locations in each sister chromatid, resulting in large numbers of DNA recombination events between the homologs. Some of these events lead to reciprocal DNA exchanges called crossovers, where the DNA of a chromatid crosses over to become continuous with the DNA of a homologous chromatid [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1091-1092).

O termo *crossover* é tratado pelos autores como equivalente ao termo *crossing over* (ver ALBERTS *et al.*, 2008, p. 304-316 e p. I:24 *Homologous recombination*).

O LDJ aproxima-se da referência ao mencionar esse entrelaçamento entre as cromátides-irmãs:

During synapsis, the chromatids within a homologous pair twist around one another, [...]. Portions of chromatids on the homologous chromosome may break off and attach to adjacent chromatids on the homologous chromosome – a process called **crossing-over**. [...] (LDJ, p. 162).

3.2.1.24 O *crossing over* envolve a troca de partes entre os cromossomos homólogos através da quebra e união das mesmas

Segundo a referência, o processo de *crossing over* envolve a troca de partes correspondentes entre os cromossomos homólogos: “**crossing over** The exchange of corresponding chromosome parts between homologs by breakage and reunion” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 783).

O LDK também se aproxima da referência ao mencionar que o *crossing over* consiste na troca de segmentos entre os cromossomos: “Notice that in **Figure 10.4** the purple and green chromosomes have exchanged segments. This exchange occurs during synapsis. **Crossing over** is a process during which chromosomal segments are exchanged between a pair of homologous chromosomes” (LDK, p. 272).

Conforme citação mencionada na seção anterior (3.2.1.23, p. 230), O LDJ também se aproxima da referência quando diz que *crossing over* é um processo onde há quebra e união de partes das cromátides entre os cromossomos homólogos.

Sendo genes partes dos cromossomos, O LDB aproxima-se da referência ao dizer que o processo de *crossing over* envolve a troca de segmentos de genes: “[...] Esse emparelhamento permite a permuta ou crossing-over, processo biológico no qual os cromossomos homólogos trocam segmentos de genes aumentando com isso a variabilidade (as diferenças) das espécies dos seres vivos. [...]” (LDB, p. 84).

Em outro trecho, o LDB utiliza o termo *informação*. Dessa forma o LDB fala que o *crossing over* permite a troca de informação entre os cromossomos homólogos de origem materna e paterna: “o crossing-over tem uma importância genética fundamental, pois permite a troca de informações de um cromossomo paterno com outro materno. [...]” (LDB, p. 84). Desse modo, o LDB também se aproxima da referência, a qual também utiliza a metáfora da informação com o mesmo significado, ou seja, a informação mencionada consiste na sequência de nucleotídeos presentes no DNA e a sua correspondência com a inserção de aminoácidos na síntese de um polipeptídeo (ver maiores explicações na seção 3.2.4.1).

Mais especificamente, a referência também diz que o *crossing over* é um processo de troca que ocorre entre as cromátides: “As already noted, the diagrammatic representation of

crossing over in Figure 4-3 shows a crossover taking place at the four-chromatid stage of meiosis; in other words, crossovers are between nonsister *chromatids*. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 135).

Dessa forma, o LDL também se aproxima da referência ao definir *crossing over* como a troca de porções entre as cromátides: “As homologous chromosomes pair up and form tetrads in meiosis I, they exchange portions of their chromatids in a process called crossing-over. [...]” (LDL, p. 276).

### 3.2.1.25 O *crossing over* permite a recombinação

A referência diz que o *crossing over* permite a formação de recombinantes: “[...] Thus, there are two types of meiotic recombination. Recombination by Mendelian independent assortment results in a recombinant frequency of 50 percent. Crossing over results in a recombinant frequency generally less than 50 percent” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 165). Segundo os autores, uma das definições de recombinação seria a geração de um produto meiótico com genótipo diferente das duas células haploides que originaram a célula diploide que sofreu o processo de meiose: “**recombination** [...] (2) At meiosis, the process that generates a haploid product of meiosis whose genotype is different from either of the two haploid genotypes that constituted the meiotic diploid (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 796). Ainda mencionam que o *crossing over* permite a mistura de material genético:

The behavior of chromosomes during meiosis clearly explains Mendel's law of equal segregation. Consider a heterozygote of general type  $A/a$ . We can simply follow the preceding summary while considering what happens to the alleles of this gene:

Start: one homolog carries  $A$  and one carries  $a$

Replication: one dyad is  $AA$  and one is  $aa$

Pairing: tetrad is  $A/A/a/a$

First division products: one cell  $AA$ , the other cell  $aa$  (crossing over can mix these types of products up but the overall ratio is not changed) Second division products: four cells, two of type  $A$  and two of type  $a$

Hence, the products of meiosis from a heterozygous meocyte  $A/a$  are  $\frac{1}{2} A$  and  $\frac{1}{2} a$ , precisely the equal ratio that is needed to explain Mendel's First Law (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 46).

O LDJ aproxima-se da referência ao também dizer que o *crossing over* gera a recombinação: “[...] Portions of chromatids on the homologous chromosome may break off and attach to adjacent chromatids on the homologous chromosome – a process called **crossing-over**. This process permits the exchange of genetic material between maternal and paternal chromosomes, Thus, **genetic recombination** results, because a new mixture of genetic material is created” (LDJ, p. 162). Verifica-se ainda que o LDJ ainda se aproxima da referência ao mencionar que, no processo de *crossing over*, há a mistura de material genético.

O LDK e o LDL também se aproximam da referência ao mencionarem que o *crossing over* gera a recombinação (ANEXO E).

### 3.2.1.26 O *crossing over* aumenta a variação (variabilidade)

Ao falar sobre variação, a referência diz que ela pode decorrer de recombinação, como os *crossing overs*:

The creation of genetic variation by recombination can be a much faster process than its creation by mutation. This high rate of the production of variation is simply a consequence of the very large number of different recombinant chromosomes that can be produced even if we take into account only single crossovers. If a pair of homologous chromosomes is heterozygous at  $n$  loci, then a crossover can take place in any one of the  $n - 1$  intervals between them, and, because each recombination produces two recombinant products, there are  $2(n - 1)$  new unique gametic types from a single generation of crossing over, even considering only single crossovers. If the heterozygous loci are well spread out along the chromosome these new gametic types will be frequent and considerable variation will be generated. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 622).

O LDB também se aproxima da referência ao dizer que o processo de *crossing over* aumenta a variabilidade: “[...] Esse emparelhamento permite a permuta ou crossing-over, processo biológico no qual os cromossomos homólogos trocam segmentos de genes aumentando com isso a variabilidade (as diferenças) das espécies dos seres vivos. [...]” (LDB, p. 84).

O termo *variabilidade* (*variability*) também é utilizado por Alberts *et al.* (2008):

[...] Two major contributions to the reassortment of genetic material that occurs in the production of gametes during meiosis. (A) The independent assortment of the

maternal and paternal homologs during meiosis produces  $2n$  different haploid gametes for an organism with  $n$  chromosomes. [...] (B) Crossing-over during prophase I exchanges DNA segments between homologous chromosomes and thereby re-assorts genes on individual chromosomes. Because of the many small differences in DNA sequence that always exist between any two homologs, both mechanisms increase the genetic variability of organisms that reproduce sexually (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1279).

3.2.1.27 Conforme os homólogos vão se afastando uns dos outros, é possível verificar estruturas em X denominadas quiasmas, evidências do *crossing over*

Segundo a referência, conforme os homólogos começam a se afastar, é possível visualizar estruturas em formas de cruz, denominadas quiasmas, entre as cromátides não-irmãs:

The pairing between homologs becomes less tight; in fact, they appear to repel each other, and, as they separate slightly, cross-shaped structures called chiasmata (singular, chiasma) appear between nonsister chromatids. Each chromosome pair generally has one or more chiasmata (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 49).

Posteriormente, ao mencionarem as explicações de Thomas Hunt Morgan a respeito do surgimento de recombinantes, os autores ainda afirmam que os quiasmas evidenciam o processo de *crossing over*:

Is there any microscopically observable process that could account for crossing over? At meiosis, when duplicated homologous chromosomes pair with each other in genetic terms, when the two dyads unite as a bivalent - a cross-shaped structure called a chiasma (pl., chiasmata) often forms between two nonsister chromatids. [...] To Morgan, the appearance of chiasmata visually corroborated the concept of crossover. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 133).

O LDB se aproxima da referência ao dizer que os pontos de *crossing* se tornam visíveis e que são chamados quiasmas: “[...] No **diplóteno** são vistos com clareza os pontos de *crossing*, onde ocorreu permuta, e são chamados de **quiasmas** cromossômicos” (LDB, p. 84).

O LDC também se aproxima da referência ao dizer que, em decorrência do processo de *crossing over*, conforme os homólogos vão se afastando, é possível visualizar estruturas parecidas com um X (forma próxima daquela apresentada pela referência), chamadas

quiasmas: “Os cromossomos homólogos começam a se afastar um do outro. Onde ocorreu crossing-over, aparecem estruturas em X denominadas quiasmas, que deslizam para as extremidades das cromátides (terminalização dos quiasmas)” (LDC, p. 105).

### 3.2.1.28 Os centríolos movem-se para os polos opostos da célula

A separação dos centríolos durante a divisão celular é detalhada por Alberts *et al.* (2008), no que diz respeito à mitose. Segundo os autores, nas células animais, os centrossomos separam-se no início da mitose, propiciando a montagem do fuso:

At the beginning of mitosis, the sudden rise in M-Cdk activity initiates spindle assembly. In animal cells, the two centrosomes move apart along the nuclear envelope, and the plus ends of the microtubules between them interdigitate to form the interpolar microtubules of the developing spindle. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1078-1079).

Conforme os autores, os centrossomos contêm, na maioria, um par de centríolos:

**centrosome**

Centrally located organelle of animal cells that is the primary microtubule-organizing center (MTOC) and acts as the spindle pole during mitosis. In most animal cells it contains a pair of centrioles. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. G-7).

Levando-se em conta as citações apresentadas na seção 3.2.1.21, como os autores não apresentam diferenciação sobre esse movimento ao descrever o processo de meiose, considerar-se-á que o LDK aproxima-se da referência ao dizer que, durante o início da meiose, os centríolos movem-se para polos opostos da célula: “As prophase I continues, centrioles move to the cell’s opposite poles” (LDK, p. 272).

A mesma aproximação foi encontrada no LDC (ANEXO E).

Entretanto, tais livros didáticos se distanciam da referência ao não especificarem que a não são todas as células que possuem centríolos. Alberts *et al.* (2008) mencionam a existência de células que não possuem essa organela:

It is this ability of chromosomes to stabilize and organize microtubules that enables cells to form bipolar spindles in the absence of centrosomes, [...] Cells that normally lack centrosomes, such as those of higher plants and many animal oocytes, use this

chromosome-based self-organization process to form spindles. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1081).

### 3.2.1.29 Fibras do fuso formam-se durante o início da meiose

A referência menciona a formação de fibras do fuso durante a divisão celular: “[...] In any nuclear division, spindle fibers form that are parallel to the cell axis. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 56).

O LDA aproxima-se da referência dizendo que as fibras do fuso se formam durante o início da meiose: “Quando o envoltório nuclear se desintegra, os bivalentes ficam livres no citoplasma e prendem-se às fibras do fuso que se formou durante a fase inicial do processo de divisão” (LDA, v. 3, p. 8).

A mesma aproximação pode ser evidenciada no LDC, LDJ, e LDK (ANEXO E).

### 3.2.1.30 O envoltório nuclear desaparece

Segundo a referência, posteriormente ocorre o desaparecimento da membrana nuclear: Metaphase I: The nuclear membrane and nucleoli have disappeared, and each pair of homologs takes up a position in the equatorial plane. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 49).

Como é possível verificar na citação apresentada na seção 3.2.1.29, o LDA aproxima-se da referência dizendo que o envoltório nuclear se desintegra.

Também se aproximam da referência quanto a esse conteúdo o LDC (ANEXO E) e o LDJ (citação abaixo).

### 3.2.1.31 Os nucléolos desaparecem

Conforme é possível verificar em citação apresentada na seção 3.2.1.30, segundo a referência, posteriormente ocorre o desaparecimento do nucléolo.

O LDC aproxima-se da referência dizendo que o nucléolo desaparece: “Os centríolos, duplicados na intérfase, migram para pólos opostos. Surgem os ásteres e o fuso acromático; desaparecem o nucléolo e a carioteca” (LDC, p. 105).

O LDJ também aproxima-se da referência ao mencionar a ocorrência da desintegração do nucléolo durante a meiose, conforme é possível verificar na citação anteriormente mencionada (encontrada no item 3.2.1.30).

### 3.2.1.32 Movimento dos cromossomos para o equador da célula

A etapa seguinte descrita pela referência seria o movimento dos cromossomos para o equador da célula: “The bivalents of all chromosomes move to the cell's equator, and, when the cell divides, one dyad moves into each new cell, pulled by spindle fibers attached to the centromeres. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 45-46).

LDB também descreve que os cromossomos se posicionam para o equador da célula: “Na **metáfase I** os bivalentes são alinhados no centro da célula ligados às fibras do fuso aos pares na placa equatorial, [...]” (LDB, p. 84).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC, LDJ e LDK (ANEXO E).

### 3.2.1.33 No equador da célula, os cromossomos ainda estão aos pares

Conforme é possível verificar em citação apresentada na seção 3.2.1.30, a referência menciona que os homólogos estão aos pares na posição equatorial.

O LDK também se aproxima da referência ao dizer que os cromossomos homólogos encontram-se aos pares ao estarem dispostos no equador da célula, durante a primeira divisão da meiose: “During metaphase I of meiosis, the homologous chromosomes line up as pairs at the cell's equator” (LDK, p. 272).

A mesma aproximação pode ser evidenciada no LDC (ANEXO E).

O LDB, entretanto, distancia-se da referência quando diz que os *bivalentes* encontram-se aos pares, em vez de se referir aos *homólogos*: “Na **metáfase I** os bivalentes são alinhados no centro da célula ligados às fibras do fuso aos pares na placa equatorial [...]” (LDB, p. 84). Como verificado na seção 3.2.1.19, um bivalente é formado pelos dois cromossomos replicados em sinapse, e não apenas por um cromossomo replicado. Alberts *et al.* (2008) também apresentam a mesma definição: [...] As prophase I progresses, the homologs become more closely juxtaposed, forming a four-chromatid structure called a bivalent [...] (Alberts *et al.*, 2008, p. 1274). Do mesmo modo, Lodish *et al.* (2007) apresentam o mesmo conhecimento (ANEXO E).

#### 3.2.1.34 Os cromossomos ligam-se às fibras do fuso

A referência diz que a meiose prossegue com os cromossomos homólogos ligando-se às fibras do fuso: “[...] The two centromeres of a homologous chromosome pair attach to spindle fibers from opposite poles” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 43).

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que os bivalentes ligam-se às fibras do fuso: “Quando o envoltório nuclear se desintegra, os bivalentes ficam livres no citoplasma e prendem-se às fibras do fuso que se formou durante a fase inicial do processo de divisão” (LDA, v. 3, p. 8).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC e LDJ (ANEXO E).

#### 3.2.1.35 As fibras do fuso ligam-se ao centrômero de cada cromossomo homólogo

Especificando mais a informação, é possível verificar, na citação mencionada na seção 3.2.1.34, que a referência a referência diz que as fibras do fuso ligam-se ao centrômero dos cromossomos homólogos.

O LDJ também se aproxima da referência ao mencionar essa ligação entre as fibras do fuso e o centrômero dos cromossomos: “[...] Spindle fibers from one pole attach to the centromere of one homologous chromosome. Spindle fibers from the opposite pole attach to the other homologous chromosome of the pair” (LDJ, 162).

A mesma aproximação pode ser evidenciada no LDK (ANEXO E).

### 3.2.1.36 Os cromossomos ligam-se às fibras do fuso de lados opostos

Segundo a referência, na meiose, as fibras do fuso de um polo ligam-se a um dos cromossomos e as fibras do fuso do polo oposto ligam-se ao outro cromossomo homólogo:

[...] Each centromere acts as a site to which a multiprotein complex called the kinetochore binds. The kinetochore acts as the site for attachment to spindle-fiber microtubules. Microtubules (ranging in number from one to many) from one pole attach to one kinetochore, and a similar number from the opposite pole attach to the kinetochore on the homologous chromatid (mitosis) or chromosome (meiosis). [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 56).

Aproximando-se da referência, o LDA também diz que um dos cromossomos do par une-se às fibras de um dos polos da célula e outro, às fibras do polo oposto: “Cada cromossomo de um bivalente prende-se a fibras de pólos opostos, de modo que um dos cromossomos do par, com suas duas cromátides, fica unido a um dos pólos, o mesmo ocorrendo com o outro em relação ao pólo oposto” (LDA, v. 3, p. 8).

A mesma aproximação pode ser evidenciada no LDJ (ANEXO E).

### 3.2.1.37 Homólogos vão para os polos opostos

A referência diz que os cromossomos se separam movendo-se para polos opostos da célula. “Anaphase I: Anaphase begins when chromosomes move directionally to the poles. The members of a homologous pair move to opposite poles” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 49).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que os cromossomos homólogos separam-se, cada qual para um polo oposto da célula:

Uma vez unidos ao fuso, os cromossomos são puxados para os pólos, o que faz os homólogos de cada bivalente se separarem se separarem. Um deles, com suas duas cromátides unidas pelo centrômero, migra para um dos pólos da célula e o outro migra para o pólo oposto (LDA, v. 3, p. 9).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ e LDK (ANEXO E). O LDL também se aproxima da referência ao mencionar a separação dos homólogos (ANEXO E).

### 3.2.1.38 Homólogos são puxados para os polos opostos pelas fibras

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.37, a referência diz que os cromossomos se separam movendo-se para polos opostos da célula.

Posteriormente, diz que eles são arrastados para os polos pelas fibras:

[...] Microtubules (ranging in number from one to many) from one pole attach to one kinetochore, and a similar number from the opposite pole attach to the kinetochore on the homologous chromatid (mitosis) or chromosome (meiosis). These fibers pull the chromosomes to the poles where they form daughter nuclei. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 56).

Conforme citação também mencionada na seção 3.2.1.37, o LDA aproxima-se da referência ao dizer que os cromossomos homólogos separam-se, por serem puxados cada qual para um polo oposto da célula. Além de apresentar essa mesma informação, o LDC também se aproxima da referência ao dizer que essa ação de puxar é realizada pelas fibras do fuso acromático: “Tracionados por fibras do fuso acromático, os cromossomos homólogos separam-se e são arrastados para os pólos opostos da célula. [...]” (LDC, p. 106)

Similarmente, o LDK diz que os cromossomos homólogos são guiados para os pólos opostos pelas fibras do fuso: “**Anaphase I** During anaphase I, the homologous chromosomes separate, which is also illustrated in **figure 10.5**. Each member of the pair is guided by spindle fibers and moves toward opposite poles of the cell” (LDK, p. 272).

### 3.2.1.39 Cada polo recebe apenas um dos cromossomos homólogos

Como anteriormente mencionado na seção 3.2.1.37, a referência diz que os cromossomos se separam movendo-se para polos opostos da célula. Desse modo, cada polo recebe apenas um dos cromossomos homólogos.

O LDK aproxima-se da referência ao dizer que cada polo contém apenas um dos membros do par original de homólogos: “[...] Each pole contains only one member of the original pair of homologous chromosomes [...]” (LDK, p. 272).

### 3.2.1.40 Migração dos homólogos para os polos: cromátides permanecem unidas pelo centrômero

Conforme já foi mencionado na seção 3.2.1.16, de acordo com Alberts *et al.* (2008), as cromátides-irmãs permanecem unidas pelo centrômero durante toda a primeira divisão da meiose. Dessa forma, o LDA aproxima-se da referência ao dizer que, durante a migração dos homólogos para polos opostos, as cromátides-irmãs se mantêm unidas pelo centrômero: “Uma vez unidos ao fuso, os cromossomos são puxados para os pólos, o que faz os homólogos de cada bivalente se separarem. Um deles, com suas duas cromátides unidas pelo centrômero, migra para um dos pólos da célula e o outro migra para o pólo oposto” (LDA, v. 3, p. 9).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC e LDJ (ANEXO E).

O LDK também se aproxima da referência ao mencionar que cada cromossomo homólogo continua sendo formado por duas cromátides-irmãs: “[...] During anaphase I of meiosis, however, each homologous chromosome still consists of two sister chromatids (LDK, p. 272)”.

### 3.2.1.41 As cromátides de um mesmo cromossomo homólogo podem não ser idênticas

Conforme é possível verificar nas seções 3.2.1.22 à 3.2.1.26, de acordo com a referência, as cromátides de um cromossomo pode trocar segmentos com as cromátides de seu homólogo no processo denominado *crossing over*. Esse processo permite a variabilidade ao possibilitar que as cromátides-irmãs passem a se diferenciar uma da outra, já que parte de seus genes foi trocada.

Desse modo, o LDK aproxima-se da referência ao dizer que as cromátides-irmãs podem não ser idênticas: “[...] Each pole contains only one member of the original pair of homologous chromosomes. [...] The sister chromatids might not be identical because crossing over might have occurred during synapsis in prophase I” (LDK, 272).

### 3.2.1.42 Os vários pares de cromossomos separam-se independentemente, permitindo a variabilidade genética

Conforme é possível verificar nas citações mencionadas na seção 3.2.1.26, de acordo com Alberts *et al* (2008), durante a meiose há a segregação independente dos cromossomos homólogos, possibilitando o aumento da variabilidade genética.

O LDJ aproxima-se dessa referência ao também mencionar a ocorrência da segregação independente dos cromossomos e sua conseqüente geração de variabilidade genética: “[...] The random separation of the homologous chromosomes is called **independent assortment**. Independent assortment results in genetic variation” (LDJ, p. 162).

A mesma aproximação foi encontrada no LDL (ANEXO E).

### 3.2.1.43 Cromossomos podem alongar-se ao atingir os polos das células

A referência diz que, posteriormente à migração dos homólogos para os polos opostos, ocorre o alongamento dos cromossomos: “Telophase I and interphase: The chromosomes elongate and become diffuse [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 49).

Entretanto, como afirmam Lodish *et al.* (2007), esse alongamento não ocorre em todos os organismos: “In some organisms, meiosis II proceeds without decondensation of the chromosomes and assembly of a nuclear envelope. [...]” (LODISH *et al.*, 2007, p. 894).

O LDK aproxima-se da referência ao dizer que os cromossomos, em algumas espécies, descondensam-se após atingir os polos das células: “In some species, the chromosomes uncoil, the nuclear membrane reappears, and nuclei re-form during telophase I” (LDK, p. 274).

Já o LDA distancia-se da referência ao generalizar a informação: “Ao atingirem os pólos das células, os cromossomos descondensam-se e originam dois núcleos-filhos, um em cada pólo celular” (LDA, v. 3, p. 9).

O mesmo distanciamento pode ser evidenciado nos LDB e LDC (ANEXO E).

#### 3.2.1.44 As membranas nucleares podem se reconstituir

Segundo a referência, ao final da primeira divisão da meiose, pode ocorrer a reconstituição da membrana nuclear; porém, isso não ocorre em todos os organismos:

Telophase I and interphase: The chromosomes elongate and become diffuse, the nuclear membrane re-forms, and the cell divides. After telophase I, there is an interphase, called interkinesis. Telophase I and interkinesis are not universal. In many organisms, these stages do not exist, no nuclear membrane re-forms, and after cell division the cells proceed directly to meiosis II. In other organisms, telophase I and the interkinesis are brief in duration. In any case, there is never DNA synthesis at this time, and the genetic state of the chromosomes does not change (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 49).

O mesmo conhecimento foi encontrado em Lodish *et al.* (2007), conforme é possível verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.43.

O LDJ se aproxima da referência ao também mencionar que a reconstituição da membrana nuclear após a primeira divisão da meiose é possível, mas que não ocorre em todos os organismos: “[...] In some species, meiosis II begins after the nuclear membrane re-forms

in the new cells. In other species, meiosis II begins immediately following meiosis I". (LDJ, p. 163).

A mesma aproximação é evidenciada no LDK (ANEXO E).

Já o LDB diz simplesmente que as membranas nucleares são regeneradas, generalizando o fenômeno, sem especificar que ele não ocorre em todos os organismos: “[...] As membranas nucleares são regeneradas e os cromossomos tornam-se menos condensados seguindo uma breve intercinese sem duplicação do material genético (DNA)” (LDB, p. 85).

O mesmo distanciamento pode ser evidenciado no LDC (ANEXO E).

#### 3.2.1.45 Homólogos formam núcleos-filhos ao atingir os polos das células

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.38, de acordo com a referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b), os cromossomos homólogos formam núcleos-filhos ao atingir os polos das células.

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que os homólogos originam núcleos-filhos após atingir os polos das células: “Ao atingirem os pólos das células, os cromossomos descondensam-se e originam dois núcleos-filhos, um em cada pólo celular” (LDA, v. 3, p. 9).

#### 3.2.1.46 Ao final da primeira divisão da meiose, a célula se divide

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.44, a referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b) diz que, ao final da meiose, a célula se divide.

O LDB também se aproxima da referência ao se referir à divisão do citoplasma em duas novas células: “[...] A **telófase I** caracteriza-se principalmente pela primeira divisão do citoplasma em duas novas células, agora com a metade do número de cromossomos da célula original” (LDB, p. 84).

A mesma aproximação foi evidenciada nos LDC e LDK (ANEXO E).

### 3.2.1.47 Ao final da primeira divisão da meiose, há a formação de duas células

Segundo Alberts *et al.* (2008), a primeira divisão da meiose dá origem a duas células-filhas:

[...] In division I of meiosis (meiosis I), by contrast, the duplicated paternal and maternal homologs (including the two replicated sex chromosomes) pair up along side each other and exchange genetic information through the process of genetic recombination. They then line up at the equator of the meiotic spindle, after which the duplicated homologs rather than the sister chromatids are pulled apart and segregated into the two daughter cells. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1273-1274).

O LDB aproxima-se da referência ao referir-se à formação de duas novas células ao final da meiose I: “[...] A **telófase I** caracteriza-se principalmente pela primeira divisão do citoplasma em duas novas células, agora com a metade do número de cromossomos da célula original” (LDB, p. 84).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDL (ANEXO E).

### 3.2.1.48 Após a primeira divisão da meiose, cada núcleo-filho passa a ter metade dos cromossomos da célula original

Definindo *díade* como o par de cromátides-irmãs unidas pelo centrômero – “**dyad** A pair of sister chromatids joined at the centromere, as in the first division of meiosis” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 784) –, a referência menciona que, no início da meiose, há dois cromossomos homólogos, e que, ao final da primeira divisão, cada díade migra para cada célula-filha, ficando essa com metade dos cromossomos dos homólogos da célula original (conforme citação mencionada na seção 3.2.1.18).

Ao referir-se a um organismo  $2n = 4$ , o LDA aproxima-se da referência ao dizer que apenas dois cromossomos são encontrados em cada um dos núcleos após a primeira divisão

da meiose, e que cada um desses cromossomos é constituído pelas suas duas cromátides-irmãs unidas na região do centrômero, havendo uma redução do número de cromossomos:

Cada um dos núcleos contém dois cromossomos, constituídos por duas cromátides-irmãs unidas pela região do centrômero. Comparando esses novos núcleos com o núcleo original, podemos ver que o número de cromossomos reduziu-se à metade: na célula que iniciou a meiose havia quatro cromossomos, todos com duas cromátides; após a primeira divisão meiótica, cada núcleo-filho apresenta apenas dois cromossomos, cada um constituído por duas cromátides (LDA, v. 3, p. 9).

Aproximam-se da referência quanto ao mesmo conteúdo os LDB, LDJ e LDK (ANEXO E).

3.2.1.49 Posteriormente à primeira divisão da meiose, cada núcleo-filho apresenta apenas uma das díades

Conforme se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.18, a referência menciona que, no início da meiose, há dois cromossomos homólogos, e que, ao final da primeira divisão, cada díade migra para cada célula-filha, cada qual ficando com apenas um dos cromossomos do par de homólogos.

O LDJ se aproxima da referência ao dizer que cada célula formada ao final da primeira divisão da meiose possui apenas um dos cromossomos do par de homólogos: “During meiosis I, the original cell produces two new cells, each containing one chromosome from each homologous pair. [...]” (LDJ, p. 162).

A mesma aproximação pode ser evidenciada no LDC (ANEXO E).

O LDL também se aproxima da referência ao dizer que as células produzidas na primeira fase da meiose não possuem o mesmo conjunto de cromossomos encontrado na célula diploide: “Because each pair of homologous chromosomes was separated, neither of the daughter cells has the two complete sets of chromosomes that it would have in a diploid cell” (LDL, p. 277).

3.2.1.50 Cada cromossomo de cada nova célula após a primeira divisão da meiose possui duas cromátides

Conforme se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.18, ao final da primeira divisão da meiose cada célula possui apenas uma díade.

Levando-se em consideração a definição de díade apresentada na seção 3.2.1.48, segundo Griffiths *et al.* (2008b), ao final da primeira divisão da meiose, cada célula produzida possui um dos homólogos com suas duas cromátides.

O LDJ se aproxima da referência ao dizer que cada nova célula produzida nesta primeira divisão possui os cromossomos com as duas cromátides: “[...] The new cells contain half the number of chromosomes of the original cell. However each new cell contains two copies (as chromatids) because the original cell copied its DNA before meiosis I” (LDJ, p. 162).

Aproximam-se da referência quanto ao mesmo conhecimento os LDC e LDK (ANEXO E e citação abaixo).

O LDL também se aproxima da referência ao dizer que, após a primeira divisão, cada cromossomo permanece com as duas cromátides: “Meiosis II The two cells produced by meiosis I now enter a second meiotic division. [...] Each of the cell’s chromosomes has 2 chromatids” (LDL, p. 277).

3.2.1.51 Cromossomos homólogos que se dirigem a polos opostos e formam novas células podem não ser idênticos

Conforme citação mencionada na seção 3.2.1.25, ao resumir o processo de meiose, a referência deixa claro que cada um dos cromossomos do par de homólogos pode carregar alelos diferentes desde o início do processo de meiose.

Isso evidencia que os homólogos podem não ser idênticos, simplesmente pelo motivo de terem alelos diferentes. Portanto, durante a primeira divisão da meiose, um homólogo que migra para um dos polos da célula pode ser diferente ao seu par que migra para o outro lado

da célula. Cada célula-filha também pode apresentar um conjunto de cromossomos e alelos diferente daquele apresentado pela célula-mãe.

A referência até chega a chamar os homólogos de idênticos, por eles possuírem os mesmos genes nas mesmas posições relativas. Entretanto, deixa claro que existem pequenas variações entre eles:

[...] The DNA sequences of the members of a homologous pair are generally the same, even though minor sequence variation is often present, which is the basis of genetic variation within a species - the type of variation that allows us to distinguish one another. Because homologous chromosomes are virtually identical, they carry the same genes in the same relative positions. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 34).

Conforme citação mencionada na seção 3.2.1.10, Alberts *et al.* (2008) também falam que os homólogos são ligeiramente diferentes. O mesmo conhecimento é apresentado por Lodish *et al.* (2007) (ANEXO E).

O LDL aproxima-se da referência ao dizer que cada célula-filha pode ter um conjunto de cromossomos e alelos diferentes uma da outra, e também diferente da célula que as originou:

Because each pair of homologous chromosomes was separated, neither of the daughter cells has the two complete sets of chromosomes that it would have in a diploid cell. Those two sets have been shuffled and sorted almost like a deck of cards. The two cells produced by meiosis I have sets of chromosomes and alleles that are different from each other and from the diploid cell that entered meiosis I (LDL, p. 277).

O LDB, entretanto, distancia-se da referência quando diz que os dois cromossomos homólogos que migram para polos opostos da célula são idênticos, exceto nos lugares onde a permuta ocorreu: “[...] na **anáfase I**, os dois cromossomos homólogos se separam e são movidos para os pólos opostos. Esses cromossomos são idênticos, exceto onde ocorreu a permuta. [...]” (LDB, p. 84).

3.2.1.52 Entre a primeira e a segunda divisão da meiose, pode ocorrer uma intérfase

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.44, Griffiths *et al.* (2008b) dizem que entre as duas divisões da meiose pode haver uma intérfase, chamada intercinese, mas que esta não ocorre em todos os organismos.

O LDK se aproxima da referência ao também dizer que após a primeira divisão da meiose pode ocorrer uma intérfase: “[...] Following cytokinesis, the cells may go into interphase again before the second set of divisions. [...]” (LDK, p. 274).

A mesma aproximação pode ser evidenciada no LDC (ANEXO E).

Já o LDB diz que, entre as duas divisões da meiose, ocorre a intercinese, generalizando a informação: “A meiose consta de duas divisões celulares consecutivas, denominadas de divisão I e II, sendo que entre elas existe uma rápida intérfase, a intercinese.” (LDB, p. 83).

Assim como Griffiths *et al.* (2008), Lodish *et al.* (2007) também comentam que nem sempre a intérfase ocorre durante as duas divisões da meiose:

In some organisms, meiosis II proceeds without decondensation of the chromosomes and assembly of a nuclear envelope. In other organisms these typical interphase events occur, but the interphase is short and nuclear envelope retraction into the ER and chromosome condensation of meiotic prophase II follow rapidly (LODISH *et al.*, 2007, p. 894)

### 3.2.1.53 A meiose apresenta apenas uma replicação cromossômica

Conforme citação mencionada na seção 3.2.1.18, Griffiths *et al.* (2008b) referem-se apenas a uma replicação cromossômica na meiose, informação que pode ser reforçada no trecho citado na seção 3.2.1.44, em que se comenta que, durante a intercinese, que pode ocorrer entre as duas divisões da meiose, não ocorre síntese de DNA.

O LDA se aproxima da referência ao dizer que há apenas uma replicação cromossômica na meiose, conforme se pode verificar na citação apresentada na seção 3.2.1.15 e no seguinte trecho: “As células formadas na primeira divisão da meiose iniciam a segunda divisão da meiose sem que ocorra nova duplicação cromossômica” (LDA, v. 3, p. 9).

O LDK também se aproxima da referência ao dizer que não há replicação do DNA após a primeira divisão da meiose. Ao mencionar a intérfase após essa primeira divisão, diz: “However, the DNA is not replicated again during this interphase” (LDK, p. 274).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ e LDL (ANEXO E).

#### 3.2.1.54 A segunda divisão da meiose envolve a contração dos cromossomos

Segundo a referência, no início da segunda divisão da meiose, as cromátides-irmãs contraem-se: “Prophase II: The haploid number of sister chromatid pairs are now present in the contracted state” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 48).

O LDA se aproxima da referência ao também mencionar a condensação dos cromossomos no início dessa segunda divisão: “[...] A segunda divisão meiótica é idêntica à mitose: os cromossomos condensam-se, o envoltório nuclear desintegra-se e os cromossomos ligam-se às fibras do fuso [...]” (LDA, v. 3, p. 9).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC e LDK (ANEXO E).

#### 3.2.1.55 O fuso se forma novamente durante a segunda divisão da meiose

Conforme citação mencionada na seção 3.2.1.29, segundo Griffiths *et al.* (2008b), o fuso é formado em qualquer divisão celular.

O LDB aproxima-se da referência ao dizer que há a formação do fuso na segunda divisão da meiose: “Na **prófase II**, que é bastante rápida, o envoltório nuclear é removido e forma-se um novo fuso [...]” (LDB, p. 85).

A mesma aproximação pode ser evidenciada pelos LDC, LDJ e LDK (ANEXO E).

#### 3.2.1.56 A segunda divisão da meiose envolve a desintegração do envoltório nuclear

Ao descrever o processo de mitose, Griffiths *et al.* (2008b) mencionam a desintegração da membrana nuclear durante o início da divisão celular: “**Late prophase.** [...] The nuclear membrane begins to break down, and the nucleoplasm and cytoplasm become one” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 47).

Alguns detalhes da segunda divisão da mitose não são descritos por Alberts *et al.* (2008). De acordo com os autores, essa etapa assemelha-se à mitose. Desse modo os autores se concentram mais em descrever as diferenças entre os processos: “Unlike meiosis I, meiosis II occurs rapidly and closely resembles a mitotic cell division, although it occurs without DNA replication” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1278).

Como nem Griffiths *et al.* (2008b) nem Alberts *et al.* (2008) apresentam elementos para diferenciar a desintegração nuclear na segunda divisão da meiose daquela que ocorre na mitose, pode-se dizer que o LDA aproxima-se da referência ao mencionar que o núcleo se desintegra durante o início da segunda divisão da meiose: “[...] A segunda divisão meiótica é idêntica à mitose: os cromossomos condensam-se, o envoltório nuclear desintegra-se e os cromossomos ligam-se às fibras do fuso [...]” (LDA, v. 3, p. 9).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB e LDC (ANEXO E).

### 3.2.1.57 Desaparecimento dos nucléolos

Ao descrever o processo de mitose, Griffiths *et al.* (2008b) mencionam o desaparecimento dos nucléolos durante o início da divisão celular: “**Late prophase.** [...] The nucleoli - large intranuclear spherical structures - disappear at this stage. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 47).

Considerando-se as justificativas apresentadas na seção 3.2.1.56, como nem Griffiths *et al.* (2008b) nem Alberts *et al.* (2008) apresentam elementos para diferenciar o desaparecimento do nucléolo na segunda divisão da meiose daquele que ocorre na mitose, pode-se dizer que o LDC aproxima-se da referência ao mencionar que o nucléolo se desintegra durante o início da segunda divisão da meiose:

Os cromossomos condensam-se, desaparecem os nucleolos, os centriolos duplicados ocupam pólos opostos na célula e surge o fuso acromático. [...] (LDC, p. 106).

### 3.2.1.58 Cada cromátide prende-se às fibras de um dos polos opostos

De acordo com Alberts *et al.* (2008), na segunda divisão da meiose, cada cromátide de um cromossomo liga-se às fibras do fuso de polos opostos da célula. Isso se verifica no trecho abaixo, em que, após descrever como essa ligação ocorre na primeira divisão da meiose, os autores comparam-na com a meiose II e com a mitose, apresentando as informações mencionadas:

[...] First, the kinetochores (protein complexes associated with the centromeres, [...]) on the two sister chromatids of a homolog attach to microtubules emanating from the same pole of the meiosis I spindle and thus segregate together into the same daughter cell at anaphase I; this contrasts with mitosis (and meiosis II), in which the kinetochores on the two sister chromatids of a chromosome attach to opposite poles of the spindle and therefore segregate (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1277-1278).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar que cada cromátide irá se ligar às fibras de um dos polos opostos: “[...] Cada cromossomo prende-se a fibras de ambos os pólos, com uma das cromátides unida a um dos pólos e a cromátide-irmã unida ao pólo oposto [...]” (LDA, v. 3, p. 9).

O LDC de forma geral também se aproxima da referência ao dizer, que durante a segunda divisão da meiose, os cromossomos irão ligar-se ao fuso: “Os cromossomos, condensados, dispõem-se na região equatorial da célula, ligados a fibras do fuso acromático” (LDC, p. 6).

### 3.2.1.59 As cromátides-irmãs dispõem-se na região equatorial da célula

Segundo a referência, na segunda divisão da meiose, as cromátides-irmãs também se dispõem na região equatorial da célula: “Metaphase II: The pairs of sister chromatids arrange themselves on the equatorial plane. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 48).

O LDB também se aproxima da referência ao dizer que os cromossomos posicionam-se no centro da célula durante essa segunda divisão da meiose:

Na **prófase II**, que é bastante rápida, o envoltório nuclear é removido e forma-se um novo fuso, seguindo-se as três últimas fases do processo como na mitose normal: uma **metáfase II**, onde os cromossomos encontram-se no centro da célula com grau máximo de espiralização, uma **anáfase II** com a separação das cromátides-irmãs para os pólos da célula, diferente da anáfase I onde os homólogos se separam, e finalmente uma **telófase II**, dividindo as duas células resultantes da meiose I em quatro células-filhas haplóides. (LDB, p. 85).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO E).

3.2.1.60 Apenas um número haploide de cromossomos fica disposto no equador da célula durante a segunda divisão da meiose

Ao descrever o início da segunda divisão da meiose, a referência menciona que, nesse momento, há um número haploide de cromátides-irmãs, que em seguida organizam-se no equador da célula: “Prophase II: The haploid number of sister chromatid pairs are now present in the contracted state. / Metaphase II: The pairs of sister chromatids arrange themselves on the equatorial plane. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 48).

O LDK aproxima-se da referência por considerar que, durante a segunda divisão da meiose, há a disposição no equador da célula de apenas um número haploide de cromossomos: “[...] During metaphase II of meiosis, however, a haploid number of chromosomes line up at the equator [...]” (LDK, p. 274).

3.2.1.61 Os centrômeros se dividem

De acordo com a referência, após as cromátides estarem dispostas no equador da célula, os centrômeros *dividem-se*: “**Anaphase II:** Centromeres split and sister chromatids are pulled to opposite poles by the spindle fibers” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 48).

O LDC distancia-se da referência ao mencionar a duplicação dos centrômeros nesse momento da meiose: “Os centrômeros duplicam-se, as cromátides-irmãs separam-se e os cromossomos-filhos são tracionados por fibras do fuso acromático para pólos opostos” (LDC, p. 106).

### 3.2.1.62 Cromátides-irmãs se separam

Segundo a referência, as cromátides-irmãs se separam uma da outra após estarem dispostas no plano equatorial:

**Metaphase II:** The pairs of sister chromatids arrange themselves on the equatorial plane. Here the chromatids often partly dissociate from each other instead of being closely pressed together as they are in mitosis.

**Anaphase II:** Centromeres split and sister chromatids are pulled opposite poles by the spindle fibers” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 48).

O LDB se aproxima da referência ao também mencionar a separação das cromátides-irmãs, conforme citação já apresentada na seção 3.2.1.59.

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO E).

### 3.2.1.63 Cada cromátide-irmã é puxada para um polo oposto

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.62, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), cada cromátide-irmã é levada pelas fibras do fuso para um dos polos opostos da célula.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que as cromátides-irmãs são puxadas para os polos opostos: “As cromátides-irmãs são puxadas para pólos opostos, onde se organizam os núcleos-filhos, dois em cada célula [...]” (LDA, v. 3, p. 10).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ e LDK (ANEXO E).

### 3.2.1.64 Cada cromátide é puxada para os polos pelas fibras do fuso

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.62, Griffiths *et al.* (2008b) afirmam que as cromátides-irmãs são conduzidas para os polos opostos pelas fibras do fuso.

O LDK aproxima-se da referência ao mencionar que as fibras do fuso são responsáveis por conduzir cada cromátide-irmã para polos opostos da célula: “[...] During anaphase II, the sister chromatids are pulled apart at the centromere by the spindle fibers, and the sister chromatids move toward the opposite poles of the cell. [...]” (LDK, p. 274).

A mesma aproximação foi encontrada no LDC (ANEXO E).

### 3.2.1.65 Após as cromátides atingirem os polos opostos da célula, a membrana nuclear é novamente formada

Ao descrever o processo de mitose, Griffiths *et al.* (2008b) mencionam que, após cada cromátide atingir os polos opostos, a membrana nuclear é reconstituída:

Telophase. A nuclear membrane re-forms around each daughter nucleus, the chromosomes uncoil, and the nucleoli reappear-all of which effectively re-form interphase nuclei. By the end of telophase, the spindle has dispersed, and the cytoplasm has been divided into two by a new cell membrane (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 47). (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 47).

Considerando-se as justificativas apresentadas na seção 3.2.1.56, como nem Griffiths *et al.* (2008b) nem Alberts *et al.* (2008) apresentam elementos para dizer que essa informação específica na segunda divisão da meiose é diferente daquela que ocorre na mitose, pode-se dizer que o LDC aproxima-se da referência ao mencionar que, após a chegada das cromátides em cada polo oposto, a membrana nuclear se reconstitui:

**Telófase II**

Em cada pólo, a carioteca se refaz em torno dos cromossomos, que se descondensam; reaparecem os nucléolos. [...] (LDC, p. 106).

A mesma aproximação foi encontrada no LDK (ANEXO E).

O LDA também se aproxima da referência ao mencionar que, após serem levadas para os polos, as cromátides se organizam em núcleos-filhos: “As cromátides-irmãs são puxadas para pólos opostos, onde se organizamos núcleos-filhos, dois em cada célula [...]” (LDA, v. 3, p. 10).

3.2.1.66 Após as cromátides atingirem os polos opostos da célula, os cromossomos se descondensam e reaparecem os nucléolos

Conforme é possível verificar na citação presente na seção 3.2.1.65, ao descrever o processo de mitose, Griffiths *et al.* (2008b) mencionam que, após cada cromátide atingir os polos opostos, os cromossomos descondensam-se e reaparecem os nucléolos.

Considerando-se as justificativas apresentadas na seção 3.2.1.57, como nem Griffiths *et al.* (2008b) nem Alberts *et al.* (2008) apresentam elementos para dizer se essa informação específica na segunda divisão da meiose é diferente daquela que ocorre na mitose, pode-se dizer que o LDC aproxima-se da referência ao mencionar que, após a chegada das cromátides em cada polo oposto, a membrana nuclear se reconstitui, conforme também é possível observar na citação apresentada na seção 3.2.1.65.

3.2.1.67 Após as cromátides atingirem os polos opostos, desorganiza-se o fuso acromático

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.1.65, ao descrever o processo de mitose, Griffiths *et al.* (2008b) mencionam que, após cada cromátide atingir os polos opostos, o fuso se desorganiza.

Considerando-se as justificativas apresentadas na seção 3.2.1.57, como nem Griffiths *et al.* (2008b) nem Alberts *et al.* (2008) apresentam elementos para dizer que essa informação específica na segunda divisão da meiose é diferente daquela que ocorre na mitose, pode-se dizer que o LDC aproxima-se da referência ao mencionar que, após a chegada das cromátides em cada polo oposto durante a segunda divisão da meiose, o fuso acromático desorganiza-se:

**Telófase II**

Em cada pólo, a carioteca se refaz em torno dos cromossomos, que se descondensam; reaparecem os nucléolos. Desorganiza-se o fuso acromático [...] (LDC, p. 106).

3.2.1.68 Ao final da segunda divisão da meiose, ocorre a divisão do citoplasma

Conforme é possível verificar na citação apresentada na seção 3.2.1.65, ao descrever o processo de mitose, Griffiths *et al.* (2008b) mencionam que, após cada cromátide atingir os polos opostos, ocorre a divisão do citoplasma.

Considerando-se as justificativas apresentadas na seção 3.2.1.57, como nem Griffiths *et al.* (2008b) nem Alberts *et al.* (2008) apresentam elementos para dizer que esta informação específica na segunda divisão da meiose é diferente daquela que ocorre na mitose, pode-se dizer que o LDC aproxima-se da referência ao mencionar que, após a chegada das cromátides em cada polo oposto, ocorre a divisão do citoplasma: “Em seguida, ocorre divisão do citoplasma, originando-se quatro células-filhas haplóides, com metade da quantidade de DNA da célula inicial” (LDC, p. 106).

Aproximação similar foi encontrada no LDK, que utiliza o termo *cytokinesis* (em português, *citoquinese*) para se referir a essa divisão: “[...] At the end of meiosis II, cytokinesis occurs, resulting in four haploid cells, each with  $n$  number of chromosomes, [...]” (LDK, p. 274). O mesmo foi evidenciado no LDJ (ANEXO E).

De acordo com Alberts *et al.* (2008), citoquinese seria a divisão do citoplasma de uma célula animal ou vegetal: “**cytokinesis** Division of the cytoplasm of a plant or animal cell into two, [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. G:10).

### 3.2.1.69 A meiose resulta em quatro células

Segundo a referência, a meiose resulta em quatro células: “[...] Hence, although the process starts with the same genomic content as that for mitosis, the two successive segregations result in four haploid cells [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 46).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar que na meiose são formadas quatro células:

Três citologistas merecem referência especial nos estudos pioneiros sobre os cromossomos na meiose: os biólogos alemães Theodor Heinrich Boveri (1862-1915) e Wilhem August Oskar Hertwig (1849-1922) e o biólogo belga Edouard van Beneden (1846-1912). Eles descobriram que, durante a formação dos gametas, ocorrem duas divisões celulares sucessivas, após uma única duplicação cromossômica, de modo que as quatro células-filhas formadas ficam com metade do número de cromossomos existente na célula original - como Weismann previu que deveria acontecer. Essas duas divisões consecutivas, semelhantes à mitose, compõem o processo de **meiose** (do grego *meiosis*, diminuição) (LDA, v. 3, p. 8).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ, LDK, e LDL (ANEXO E).

### 3.2.1.70 A meiose produz células geneticamente diferentes

De acordo com Alberts *et al.* (2008), a meiose permite a formação de células haploides que são geneticamente diferentes entre si: “A crucial feature of meiosis is that it generates haploid cells that are genetically different from one another and from the two haploid cells that formed the organism in the first place. [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1271).

O LDB aproxima-se da referência ao mencionar que as células produzidas pela meiose são geneticamente diferentes: “Após a meiose são formadas 4 células-filhas com a metade do número de cromossomos da célula-mãe e ainda diferentes geneticamente” (LDB, p. 83).

A mesma aproximação foi encontrada no LDL: “Meiosis, on the other hand, begins with a diploid cell but produces four haploid (N) cells. These cells are genetically different from the diploid cell and from one another. [...]” (LDL, p. 278).

3.2.1.71 Nem todas as células produzidas por meiose nas fêmeas podem participar da reprodução

De acordo com Alberts *et al.* (2008), o processo de meiose nas fêmeas gera pequenos corpúsculos polares, os quais se degeneram e, portanto, não participam da reprodução:

[...] To end meiosis I, the cytoplasm divides asymmetrically to produce two cells that differ greatly in size: one is a small polar body, and the other is a large secondary oocyte, the precursor of the egg. At this stage, each chromosome is still composed of two sister chromatids held together at their centromeres. The sister chromatids do not separate until anaphase II, after which the cytoplasm of the large secondary oocyte again divides asymmetrically to produce the mature egg (or ovum) and a second small polar body, each with a haploid set of single chromosomes [...]. Because of these asymmetrical divisions of their cytoplasm, oocytes maintain their large size despite undergoing the two meiotic divisions. Both of the polar bodies are small, and they eventually degenerate (ALBERTS, *et al.*, 2008. p. 1289-1290).

O LDL aproxima-se da referência ao dizer que há células produzidas na meiose nas fêmeas, denominadas corpúsculos polares, que, usualmente, não participam do processo reprodutivo:

In many female animals, the cell divisions at the end of meiosis I and meiosis II are uneven, so that a single cell, which becomes an egg, receives most of the cytoplasm, as shown in Figure 11-17. The other three cells produced in the female during meiosis are known as polar bodies and usually do not participate in reproduction (LDL, p. 278).

### 3.2.1.72 A meiose permite a constância do número de cromossomos entre as gerações

De acordo com Alberts *et al.* (2008), a meiose permite que, na reprodução sexual, ocorra a formação de células haploides a partir de organismos diploides, e que tais células sexuais se fundam para formar um novo organismo, restaurando o estágio diploide:

Sexual reproduction occurs in diploid organisms, in which each cell contains two sets of chromosomes, one inherited from each parent. The specialized cells that carry out sexual reproduction, however, are haploid; that is, they each contain only one set of chromosomes. In the final step of sexual reproduction, a haploid cell of one individual fuses with a haploid cell of another, mixing the two genomes and restoring the diploid state. Sexual reproduction, therefore, requires a specialized type of cell division called meiosis, in which a diploid precursor cell gives rise to haploid progeny cells, rather than to diploid cells as occurs in ordinary mitotic cell division (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 1269).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a meiose permite a constância do número de cromossomos durante as gerações:

Em 1885, o biólogo alemão August Friedrich Leopold Weismann (1834-1914) propôs uma hipótese para explicar a constância do número de cromossomos de uma geração para outra. Ele previu, acertadamente, que, na formação dos gametas, devia ocorrer um tipo diferente de divisão celular, em que o número de cromossomos das células-filhas seria reduzido à metade. Esse processo é atualmente conhecido como meiose (LDA, v. 3, p. 8).

A mesma aproximação pode ser evidenciada pelos LDB e LDC (ANEXO E).

### 3.2.2 Padrões de Herança: Primeira lei de Mendel<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> Ao leitor que consulta parcialmente a presente tese, recomendamos a leitura das considerações realizadas no início da seção 3.2, página 214

3.2.2.1 Linhagem pura para um determinado fenótipo é aquela que, quando cruzada consigo mesma, dá origem apenas a indivíduos com esse mesmo fenótipo

A referência, assim como parte dos livros didáticos analisados, explica as leis mendelianas apoiando-se nas explicações de Mendel sobre seus experimentos e resultados.

Como esses experimentos envolvem o cruzamento de organismos de linhagens puras, a referência define que uma linhagem pura com relação a um fenótipo específico é aquela capaz de produzir, quando cruzada consigo mesma, uma prole em que todos os indivíduos possuam esse mesmo fenótipo:

[...] All of the lines used by Mendel were pure lines, meaning that, for the phenotype in question, all offspring produced by matings within the members of that line were identical. For example, within the yellow-seeded line, all the progeny of any mating were yellow seeded (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 38).

O LDC aproxima-se da referência ao dizer que linhagens puras são aquelas que, por autofecundação, produzem apenas descendentes que em determinadas características são iguais à geração progenitora: “Mendel iniciou seus trabalhos obtendo **linhagens puras**, isto é, plantas que, por autofecundação, só originavam descendentes iguais a elas mesmas, em relação a determinadas características [...]” (LDC, p. 120-121).

O LDJ também se aproxima da referência ao dizer que uma linhagem pura para uma determinada característica é aquela que, na autopolinização, produz apenas indivíduos com essa mesma característica: “[...] Plants that are **true-breeding**, or pure, for trait always produce offspring with that trait when they self-pollinate. [...]” (LDJ, p. 175).

Tanto o LDJ como no LDL, assim como Griffiths *et al.* (2008b), utilizam o termo *true breeding line* como sinônimo de linhagem pura (ver Griffiths *et al.*, 2008b, p. 800).

Já o LDA distancia-se da referência ao considerar que uma linhagem pura é aquela que, quando cruzada consigo mesma, produz indivíduos iguais a si, podendo o leitor interpretar que todas as características dessa linhagem são herdadas por sua prole, e não apenas um fenótipo específico que está sendo considerado, mesmo que o exemplo se refira apenas a uma característica. Desse modo, ao falar sobre os experimentos de Mendel, o LDA diz que “[...] Para ele, eram puras as linhagens que, por autofecundação, davam origem

somente a plantas iguais a si. Uma linhagem pura alta, por exemplo, quando autofecundada ou cruzada com outra idêntica a si, só produz descendentes altos” (LDA, v. 3, p. 21).

O mesmo distanciamento foi encontrado no LDL (ANEXO F).

3.2.2.2 Os cruzamentos entre duas linhagens puras para dois fenótipos diferentes podem originar indivíduos com o fenótipo apresentado por apenas uma delas

A referência diz que o cruzamento de duas linhagens puras, cada qual para fenótipos diferentes de uma mesma característica – por exemplo, semente verde e semente amarela –, pode gerar indivíduos com o fenótipo de apenas uma das linhagens genitoras. Por exemplo, ao falar sobre os experimentos realizados por Mendel com plantas de ervilha, os autores comentam que:

[...] All of the lines used by Mendel were pure lines [...]

The first cross made by Mendel mated plants of the yellow-seeded lines with plants of the green-seeded lines. These lines constituted the **parental generation**, abbreviated P. [...] The progeny peas from the cross between the different pure lines were found to be all yellow, no matter which parent (yellow or green) was used as male or female. This progeny generation is called the **first filial generation**, or **F<sub>1</sub>**. Hence, the results of these two reciprocal crosses were as follows, where X represents a cross:

female from yellow line X male from green line → F<sub>1</sub> peas all yellow  
female from green line X male from yellow line → F<sub>1</sub> peas all yellow

The results observed in the descendants of both reciprocal crosses were the same, and so we will treat them as one cross. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 38-39).

Nesse aspecto, o LDA se aproxima da referência por também mencionar que o cruzamento entre duas linhagens puras, com fenótipos diferentes para uma mesma característica, pode produzir indivíduos apenas com o fenótipo de um dos dois grupos de progenitores. Dessa forma, ao também mencionar os experimentos de Mendel com ervilhas, diz:

Mendel realizou cruzamentos entre plantas puras que diferiam quanto a cada uma das sete características que ele escolheu. [...]

Nesses cruzamentos, a geração constituída pelas variedades puras era denominada geração parental, hoje chamada, abreviadamente, geração P. A descendência imediata desses cruzamentos era chamada de primeira geração híbrida, hoje denominada geração F<sub>1</sub> (primeira geração de filhos). A descendência resultante da autofecundação da primeira geração híbrida (F<sub>1</sub>) era denominada segunda geração híbrida, hoje chamada de geração F<sub>2</sub>. [...]

Mendel observou que os indivíduos híbridos da geração F<sub>1</sub> eram sempre iguais a um dos pais. Por exemplo, os híbridos originados do cruzamento de plantas puras altas com plantas puras anãs eram sempre altos e indistinguíveis da planta alta pura. O traço "baixa estatura" aparentemente desaparecia na geração F<sub>1</sub> (LDA, v.3, p. 21).

Os LDB, LDC, LDJ, LDK e LDL aproximam-se da referência ao apresentar a mesma informação (ANEXO F).

3.2.2.3 Na prole resultante do cruzamento da geração F<sub>1</sub>, é possível o reaparecimento do fenótipo que havia desaparecido na prole da geração parental

Referindo-se aos experimentos realizados por Mendel, a referência diz que, da autofecundação dos indivíduos da geração F<sub>1</sub>, obtidos do cruzamento dos parentais de linhagens puras anteriormente mencionados, pode resultar o reaparecimento do fenótipo que havia desaparecido na primeira geração filial:

[...] Mendel grew F<sub>1</sub> peas into plants, and he selfed or intercrossed the resulting F<sub>1</sub> plants to obtain the **second filial generation**, or F<sub>2</sub>. The F<sub>2</sub> was composed of 6022 yellow peas and 2001 green peas. Mendel noted that this outcome was very close to a precise mathematical ratio of three-fourths yellow and one-fourth green. Interestingly, the green phenotype, which had disappeared in the F<sub>1</sub> had reappeared in one-fourth of the F<sub>2</sub> individuals, showing that the genetic determinants for green must have been present in the yellow F<sub>1</sub>, although unexpressed (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 39).

O LDA se aproxima da referência ao mencionar a possibilidade de o autocruzamento dos indivíduos dessa primeira geração filial resultar no reaparecimento do fenótipo que estava em recessão:

[...] A autofecundação das plantas híbridas, no entanto, produzia uma descendência constituída por plantas altas e por plantas anãs. Isso levou Mendel a concluir que,

nas plantas híbridas (geração  $F_1$ ), o traço de um dos pais ficava "em recesso", isto é, encoberto, reaparecendo novamente na geração  $F_2$ . [...] (LDA, v. 3, p. 21-22).

A mesma aproximação com relação à referência pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO F).

#### 3.2.2.4 O fenótipo que reaparece em $F_2$ apresenta-se em menor proporção

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.3, Griffiths *et al.* (2008b) dizem que, na geração  $F_2$ , é possível verificar o reaparecimento de indivíduos com o fenótipo que havia desaparecido na geração  $F_1$ , porém em menor proporção do que o outro fenótipo analisado para a mesma característica.

O LDB também se aproxima da referência ao mencionar esse reaparecimento em menor proporção:

Como não apareceu nenhum descendente com flores brancas, Mendel procurou encontrar o motivo desse fato. Cruzou então os indivíduos vermelhos de  $F_1$  entre si e verificou surpreso que as flores brancas reapareceram em  $F_2$  ou segunda filiação, mas em proporção menor do que as vermelhas. A geração  $F_2$  foi obtida pela autofertilização ou autofecundação dos descendentes de  $F_1$  (LDB, p. 261).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC, LDJ e LDK (ANEXO F).

#### 3.2.2.5 Na geração $F_2$ , pode-se encontrar uma proporção de 3:1 entre os indivíduos que apresentam cada uma dos fenótipos da característica analisada

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.3, Griffiths *et al.* (2008b) afirmam sobre a possibilidade de a geração  $F_2$  possuir uma proporção de 3:1 entre os indivíduos que possuem cada um dos dois fenótipos relacionados à característica analisada.

O LDA aproxima-se da referência por também mencionar que é possível identificar a proporção 3:1 entre os fenótipos analisados na  $F_2$ :

No cruzamento entre plantas puras de sementes amarelas e plantas puras de sementes verdes, por exemplo, Mendel obteve, em  $F_2$ , de um total de 8.023 sementes, 6.022 sementes amarelas e 2.001 sementes verdes. Dividindo-se o número de sementes amarelas pelo número de sementes verdes, obtém-se a proporção de aproximadamente 3,01 : 1 (LDA, v. 3, p. 22).

Essa mesma informação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO F).

3.2.2.6 A explicação mendeliana para tais resultados consiste na existência de fatores que determinam o fenótipo dos indivíduos

De acordo com a referência, a explicação mendeliana para os resultados obtidos nos cruzamentos anteriormente mencionados seria que a característica seria determinada por um fator hereditário, o qual depois foi denominado de gene.

[...] Mendel's model for the pea color example, translated into modern terms, was as follows.

1. A hereditary factor called a **gene** is necessary for producing pea color.
2. Each plant has a pair of this type of gene.
3. The gene comes in two forms called **alleles**. If the gene is phonetically called a "wye" gene, then the two alleles can be represented by  $Y$  (standing for the yellow phenotype) and  $y$  (standing for the green phenotype).
4. A plant can be either  $Y/Y$ ,  $y/y$ , or  $Y/y$ . The slash shows that the alleles are a pair.
5. In the  $Y/y$  plant, the  $Y$  allele dominates, and so the phenotype will be yellow. Hence, the phenotype of the  $Y/y$  plant defines the  $Y$  allele as **dominant** and the  $y$  allele as **recessive**.
6. In meiosis, the members of a gene pair separate equally into the eggs and sperm. This equal separation has become known as **Mendel's First Law** or as the **law of equal segregation**.
7. Hence, a single gamete contains only one member of the gene pair.
8. At fertilization, gametes fuse randomly, regardless of which of the alleles they bear (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 40).

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que, de acordo com as premissas mendelianas, os resultados de tais cruzamentos são explicados pelo fato de existir fatores determinantes das características.

Para explicar o desaparecimento do caráter recessivo em  $F_1$  e seu reaparecimento em  $F_2$ , na proporção de 3 dominantes para 1 recessivo, Mendel elaborou uma hipótese, cujas premissas são:

- cada característica hereditária é determinada por fatores, herdados em igual quantidade da mãe e do pai [...] (LDA, v. 3, p. 23).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO F).

### 3.2.2.7 Os genes podem ocorrer em diferentes formas contrastantes

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.6, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), os genes podem ocorrer em formas diferentes.

O LDL aproxima-se da referência ao mencionar que as características estudadas por Mendel eram controladas por duas formas contrastantes:

[...] Each of the traits Mendel studied was controlled by one gene that occurred in two contrasting forms. These contrasting forms produced the different characters of each trait. For example, the gene for plant height occurs in one form that produces tall plants and in another form that produces short plants (LDL, p. 265).

### 3.2.2.8 Os fatores observados por Mendel são genes, que se apresentam em formas alternativas chamadas alelos<sup>52</sup>

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.6, ao explicar os experimentos realizados por Mendel sobre herança monogênica, Griffiths *et al.* (2008b) já

---

<sup>52</sup> Nesta seção, diferentemente das demais, buscou-se elementos de referência na História da Ciência, a fim de se compreender a relação entre genes, alelos e fatores mendelianos, uma vez que a bibliografia de referência não se mostrou suficiente para a compreensão dos distanciamentos e aproximações presentes nas informações analisadas.

utilizam termos modernos, referindo-se aos fatores mencionados por ele como o que chamamos hoje como gene, o qual possui formas alternativas denominadas alelos.

Para Watson *et al.* (2008), os fatores mendelianos também correspondem ao que hoje denominamos genes: “Mendel correctly interpreted his results as follows [...]: the various traits are controlled by pair of factors (which we now call **genes**), one factor derived from the male parent, the other from the female. For example, pure-breedings strains of round peas contain two versions or **alleles**) of the roundness gene RR [...]” (WATSON *et al.*, 2008, p. 7).

O LDL aproxima-se das referências ao dizer que os fatores mendelianos hoje são denominados de genes, e que estes possuem formas alternativas denominadas alelos: “Today, scientists call the chemical factors that determine traits genes. [...] The different forms of a gene are called alleles (uh-LEELZ)” (LDL, p. 265).

Já o LDJ distancia-se das referências ao mencionar que os fatores mencionados por Mendel são os alelos, e não os genes:

#### **Support for Mendel's Conclusions**

[...] A gene is the segment of DNA on a chromosome that controls a particular hereditary trait. Because chromosomes occur in pairs, genes also occur in pairs. Each of two or more alternative forms of a gene is called an **allele**. Mendel's *factors* are now called *alleles* (LDJ, p. 178).

O mesmo distanciamento pode ser evidenciado nos LDC e LDK (ANEXO F).

Na versão em inglês do trabalho em que Mendel publica seus experimentos com ervilha, *Experiments in Plant Hybridization* (MENDEL, [1866] 1996), traduzida do original alemão (*Versuche über Pflanzen-Hybriden* – MENDEL, 1866) por William Bateson e corrigida por Roger Blumberg, buscou-se o termo *factor* (fator). Apenas duas menções foram encontradas, sendo que apenas a primeira se referia aos elementos que Mendel supunha acompanhar os gametas:

[...] So far as experience goes, we find it in every case confirmed that constant progeny can only be formed when the egg cells and the fertilizing pollen are of like character, so that both are provided with the material for creating quite similar individuals, as is the case with the normal fertilization of pure species. We must therefore regard it as certain that exactly similar factors must be at work also in the production of the constant forms in the hybrid plants (MENDEL, 1996 [1866], p. 20).

No outro momento em que aparece, o termo se refere aos elementos que Mendel julgava importante considerar quando se analisa a variabilidade das plantas cultivadas:

It is more than probable that as regards the variability of cultivated plants there exists a factor which so far has received little attention. Various experiments force us to the conclusion that our cultivated plants, with few exceptions, are members of various hybrid series, whose further development in conformity with law is varied and interrupted by frequent crossings inter se. The circumstance must not be overlooked that cultivated plants are mostly grown in great numbers and close together, affording the most favorable conditions for reciprocal fertilization between the varieties present and species itself (MENDEL, 1996 [1866], p. 31).

Durante a leitura do texto, pode-se perceber que um termo mais frequentemente utilizado por Mendel seria *character* (caráter), como se pode ver exemplificado no trecho abaixo citado:

If two plants which differ constantly in one or several characters be crossed, numerous experiments have demonstrated that the common characters are transmitted unchanged to the hybrids and their progeny; but each pair of differentiating characters, on the other hand, unite in the hybrid to form a new character, which in the progeny of the hybrid is usually variable. The object of the experiment was to observe these variations in the case of each pair of differentiating characters, and to deduce the law according to which they appear in successive generations (MENDEL, 1996 [1866], p. 4).

Ao verificar a versão original em alemão (MENDEL, 1866), constatou-se que o termo utilizado para *factors* corresponde a *Factoren* e o termo utilizado para *characters* corresponde a *Merkmale*; ambos apresentam mesmo significado expresso na versão em inglês. Ademais, o termo *Factoren* aparece também somente nos dois trechos (ver ANEXO F).

Ao consultar o trabalho de Martins (2002), verifica-se que a autora também comenta a existência de apenas duas menções do termo *Factoren* no trabalho de Mendel. Segundo a autora, esse termo é posteriormente mais utilizado por William Bateson (MARTINS, 2002). Ela também explica que Bateson, em seu trabalho com E. R. Saunders, sugere o termo *alelomorfo* para designar os caracteres mendelianos, o que é realmente possível verificar no parágrafo posterior:

By crossing two forms exhibiting antagonistic characters, cross-breds were produced. The generative cells of these cross-breds were shown to be of two kinds, each being pure in respect of *one* of the parental characters. This purity of the germ cells, and their inability to transmit both of the antagonistic characters, is the central fact proved by Mendel's work. We thus reach the conception of unicharacters existing in antagonistic pairs. Such characters we propose to call *allelomorphs*, and

the zygote formed by the union of a pair of opposite allelomorphs gametes we shall call a *heterozygote* (BATESON; SAUNDERS, 1902).

Posteriormente, em seu livro de 1909, Wilherm Johannsen propõe substituir tais termos pelo termo *gene* (JUSTINA *et al.*, 2010; MARTINS, 2006). Em artigo posterior, menciona novamente sua proposição, dizendo que *gene* corresponderia a *fatores*, *elementos* ou *alelomorfos*, utilizados pelos pesquisadores de sua época:

Therefore I have proposed the terms "gene " and "genotype" and some further terms, as "phenotype" and "biotype," to be used in the science of genetics. The "gene " is nothing but a very applicable little word, easily combined with others, and hence it may be useful as an expression for the "unit-factors," "elements" or "allelomorphs" in the gametes, demonstrated by modern Mendelian researches (JOHANNSEN, 1911).

Apesar do sentido polissêmico que *gene* possui atualmente, ele foi introduzido como uma alternativa para os caracteres ou fatores mendelianos. O termo *alelo*, entretanto, não é mais utilizado como um sinônimo de *gene*. Ele possui um sentido próprio, o qual, segundo a referência, significa uma das diferentes formas de um *gene*, possíveis para um único *locus*: “**allele** One of the different forms of a gene that can exist at a single locus” (GRIFFITHS, 2008b, p. 779).

É importante mencionar que as questões referentes a relação entre genes, alelos e fatores, uma vez discutidas nesta seção, não serão retomadas posteriormente nas demais seções.

### 3.2.2.9 Um par de fatores é necessário para determinar a característica

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.6, Griffiths *et al.* (2008b) explicam que, segundo o modelo mendeliano, um par de genes é necessário para a determinação de uma característica.

O LDB, apresentando os enunciados da primeira lei de Mendel, também diz que, segundo esta, é necessário um par de genes para a determinação de uma característica: “Todo caráter é condicionado por um par de genes alelos que se separam na formação dos gametas” (LDB, p. 260).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC, LDJ e LDK (ANEXO F).

O termo *genes alelos*, utilizado por LDB, não foi encontrado na referência. Villas-Boas (2006) apresenta uma hipótese para o uso desse termo em livros didáticos. A autora diz que é possível que tal termo tenha surgido de um erro de tradução do inglês para o português do termo *gene alleles*, que deveria ser traduzido como *alelos gênicos*. Já a Academia Brasileira de Letras (2009) considera o termo *alelo* tanto substantivo como adjetivo.

#### 3.2.2.10 Os fatores são herdados em igual quantidade dos progenitores

De acordo com Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), em organismos diploides, o indivíduo recebe um cromossomo do par de cada progenitor. O mesmo ocorre com os genes, que, por estarem localizados nesses cromossomos, também são herdados do mesmo modo:

In diploid organisms with two sets of chromosomes, one of each chromosome pair is inherited from each parent. This is also true for genes. One of the two copies of each gene is the paternal allele (inherited from the father), the other is the maternal allele (inherited from the mother). This common pattern of inheritance led to the discovery that chromosomes in fact carry the genes (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 27).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que os fatores de um indivíduo são herdados em quantidades iguais de cada um de seus pais: “[...] cada característica hereditária é determinada por fatores, herdados em igual quantidade da mãe e do pai; [...]” (LDA, v. 3, p. 23).

A mesma aproximação foi encontrada no LDC (ANEXO F).

#### 3.2.2.11 Os fatores segregam igualmente durante a formação dos gametas

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.6, Griffiths *et al.* (2008b) explicam que, de acordo com a primeira lei da herança mendeliana, os membros do par de genes se separam igualmente na formação dos gametas.

O LDA aproxima-se da referência ao também afirmar que, segundo o modelo mendeliano, ocorre a separação dos fatores durante a produção de tais células sexuais: “[...] os fatores de cada par separam-se (Mendel usou o termo "segregam-se") quando os indivíduos produzem gametas” (LDA,v. 3, p. 23).

Os LDB, LDC, LDJ, LDK e LDL aproximam-se da referência por apresentarem o mesmo conhecimento (ANEXO F).

### 3.2.2.12 Os gametas possuem apenas um fator de cada par

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.6, ao descreverem a lei da segregação igual, Griffiths *et al.* (2008b) comentam que cada gameta possui apenas um membro de cada par de fatores. Desse modo, possuem apenas um dos dois fatores responsáveis pela determinação da característica.

O LDB se aproxima da referência ao dizer que os gametas possuem apenas um dos fatores de cada par:

Todo gameta é puro, isto é, contém apenas um alelo de cada par alelomorfo.  
Todo gameta apresenta apenas um cromossomo de cada par de homólogos.  
Todo gameta é puro para um elemento de um par de determinantes (LDB, p. 260).

Os LDA, LDC, LDJ LDK e LDL aproximam-se da referência por apresentarem o mesmo conhecimento (ANEXO F).

### 3.2.2.13 Os gametas possuem apenas um tipo de fator

Se a referência diz, conforme mencionado acima (citação do tópico 3.2.2.12), que cada gameta possui apenas um membro de cada par, desse modo, é possível ter apenas um tipo de fator para a característica analisada e, portanto, os gametas são puros.

O LDA se aproxima da referência ao dizer que os gametas são puros, possuindo apenas um tipo de fator: “Os fatores que condicionam uma característica segregam-se (separam-se) na formação dos gametas; estes, portanto, são puros com relação a cada fator” (LDA, v. 3, p. 24).

Os LDB e LDC aproximam-se da referência por apresentarem o mesmo conhecimento (ANEXO F).

3.2.2.14 Todos os gametas produzidos por homozigotos apresentam apenas um mesmo tipo de fator, sendo o tipo de fator presente no indivíduo o mesmo encontrado no gameta

Baseada nos postulados mendelianos, a referência afirma que as linhagens puras produzem apenas gametas com fatores do mesmo tipo que possuem: “[...] The pure-breeding lines are homozygous, either  $Y/Y$  or  $y/y$ . Hence, each line produces only  $Y$  gametes or only  $y$  gametes and thus can only breed true. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 40).

O LDA também se aproxima da referência ao explicar o modelo mendeliano dizendo que os gametas produzidos por indivíduos puros possuem apenas um fator igual ao que o indivíduo possui: “[...] se o indivíduo é puro quanto a determinada característica, todos os seus gametas terão o mesmo fator para aquela característica; [...]” (LDA, v. 3, p. 23).

O LDC e o LDK aproximam-se da referência por apresentarem o mesmo conhecimento (ANEXO F).

3.2.2.15 Heterozigotos produzem dois tipos de gametas em igual proporção

De acordo com os postulados da primeira lei de Mendel, apresentados pela referência, indivíduos heterozigotos podem produzir dois tipos de gametas, sendo esses em igual número: “[...] Equal segregation of the  $Y$  and  $y$  alleles in the heterozygous  $F_1$  results in gametes, both male and female, half of which are  $Y$  and half of which are  $y$ . [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p.41).

Aproximando-se da referência, o LDA também comenta que indivíduos híbridos produzem gametas de dois tipos, em igual proporção. Ao explicar o modelo proposto por Mendel, diz: “se o indivíduo é híbrido, ele produzirá dois tipos de gameta em mesma proporção: metade com o fator para um dos traços e metade com o fator para o outro” (LDA, v. 3, p. 23).

A mesma aproximação pode ser encontrada no LDC (ANEXO F).

O LDL também se aproxima da referência ao mencionar que das plantas da geração  $F_1$  podem resultar dois tipos de gametas (ANEXO F).

3.2.2.16 Quando há a fecundação, o novo indivíduo formado possui dois fatores para cada característica

Ao apresentar as explicações para os resultados obtidos em  $F_1$  e  $F_2$ , Watson *et al.* (2007) citam que, após um cruzamento, o novo indivíduo possui dois alelos para uma determinada característica, em vez de apenas um, como é encontrado nos gametas:

The round-strain gametes each have one gene for roundness (R); the wrinkled-strain gametes each have one gene for wrinkledness (r). In a cross between RR and rr, fertilization produces an  $F_1$  plant with both alleles (Rr). [...] (Watson *et al.*, 2008, p. 7).

O LDJ aproxima-se da referência ao também mencionar que, segundo as leis mendelianas, da combinação dos gametas durante a fecundação são obtidos indivíduos que possuem dois fatores para cada característica: “[...] When two gametes combine during fertilization, the offspring have two factors for each characteristic. [...]” (LDJ, p. 177).

O LDK aproxima-se da referência por apresentar o mesmo conhecimento (ANEXO F).

3.2.2.17 O indivíduo formado em um cruzamento entre homocigotos para fenótipos diferentes de uma mesma característica recebe um gene de cada progenitor

Conforme citação apresentada na seção 3.2.2.16, segundo Watson *et al.* (2008), as leis mendelianas dizem que o cruzamento entre homozigotos para fenótipos diferentes resultava na herança de um gene de cada progenitor.

O LDB aproxima-se da referência por apresentar esse mesmo conhecimento:

[...] O  $F_1$  resulta da união do gameta masculino com o feminino, logicamente receberá um gene de cada progenitor.  
Cada pai em suas células possui RR ou rr, o  $F_1$  será Rr. Os gametas de  $F_1$  serão R e r.  
Ao se cruzar as plantas, haverá a união do gameta masculino R ou r com o gameta feminino R ou r. O ovo resultante possuirá ambos os genes, sendo, portanto, híbrido, Rr. (LDB, p. 261).

A mesma aproximação foi evidenciada nos LDC e LDJ (ANEXO F).

3.2.2.18 O cruzamento de indivíduos homozigotos para fenótipos diferentes de uma mesma característica resulta na formação de híbridos ou heterozigotos

A referência diz que, segundo o modelo mendeliano, o cruzamento de duas linhagens homozigotas dá origem a indivíduos heterozigotos:

[...] The pure-breeding lines are homozygous, either  $Y/Y$  or  $y/y$ . Hence, each line produces only  $Y$  gametes or only  $y$  gametes and thus can only breed true. When crossed with each other, the  $Y/Y$  and the  $y/y$  lines produce an  $F_1$  generation composed of all heterozygous individuals ( $Y/y$ ). [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p.41).

Também se referindo ao mesmo modelo, o LDA diz que o cruzamento de indivíduos homozigotos para fenótipos diferentes de uma mesma característica produz indivíduos híbridos:

Vejamos como o modelo imaginado por Mendel permite explicar os resultados obtidos nos cruzamentos entre plantas altas e plantas anãs.  
Flores de uma planta alta pura, das quais haviam sido retiradas as anteras, recebem pólen de uma planta anã. De acordo com Mendel, cada óvulo da planta alta contém apenas o fator para esse traço ( $A$ ). Cada grão de pólen da planta anã contém apenas o fator para baixa estatura ( $a$ ). Cada semente produzida a partir do encontro de um óvulo com um grão de pólen será híbrida, isto é, terá os dois tipos de fatores ( $Aa$ ) (LDA, v. 3, p. 23).

A referência considera o termo *híbrido* como sinônimo de *heterozigoto*, apresentando em seu glossário a seguinte definição: “**hybrid** (1) A heterozygote. (2) An individual progeny from any cross between parents of different genotypes” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p.788). Desse modo, podemos dizer o que LDA aproxima-se da referência ao se referir sobre o resultado do cruzamento entre homozigotos dentro das premissas mendelianas.

Os LDB e LDK também se aproximam da referência por apresentarem esse mesmo conhecimento (ANEXO F).

O LDC, por sua vez, aproxima-se da referência ao dizer que todos os indivíduos provenientes desse cruzamento possuem o mesmo genótipo: “Na geração F<sub>1</sub> 100% dos descendentes possuem os mesmos genótipo e fenótipo” (LDC, p. 222).

3.2.2.19 O indivíduo heterozigoto apresenta apenas o fenótipo de um de seus progenitores, pois o fator que o determina é dominante sobre o fator do outro fenótipo

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.2.6, Griffiths *et al.* (2008b) dizem que, segundo o modelo mendeliano, o indivíduo heterozigoto terá o fenótipo do alelo que domina.

O LDA se aproxima da referência por também mencionar que o fenótipo apresentado pelo indivíduo heterozigoto será aquele determinado pelo fator dominante. Ao falar sobre a explicação proposta por Mendel para os resultados que ele obteve na primeira geração filial de seus experimentos, os autores dizem: “Cada semente produzida a partir do encontro de um óvulo com um grão de pólen será híbrida, isto é, terá os dois tipos de fatores (*Aa*) Uma vez que o fator para estatura alta é dominante sobre o fator para estatura baixa, as plantas híbridas serão todas altas” (LDA, v. 3, p. 23)<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> Como a presente análise incide sobre os conteúdos de genética, não serão aqui discutidos aproximações e distanciamentos referentes à área de Botânica.

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO F).

### 3.2.2.20 O fenótipo que desaparece na $F_1$ seria controlado por um fator recessivo

De acordo com Watson *et al.* (2007), os fatores que desaparecem na geração  $F_1$  são controlados por um fator chamado de recessivo: “The trait that appears in the  $F_1$  progeny is called **dominant**, whereas the trait that does not appear in  $F_1$  is called **recessive**” (WATSON *et al.*, 2008, p. 7).

O LDC aproxima-se da referência ao também dizer que o fator que permanece oculto é um fator recessivo:

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

[...]

- Quando dois fatores são diferentes, apenas um (**dominante**) se manifesta; o outro (**recessivo**) permanece oculto (LDC, p. 121).

A mesma aproximação foi encontrada no LDJ (ANEXO F).

### 3.2.2.21 Quatro diferentes tipos de combinação são possíveis a partir do encontro entre os gametas provenientes de indivíduos heterozigotos

Baseada no modelo mendeliano, a referência menciona que quatro diferentes tipos de combinações são possíveis a partir do encontro entre gametas provenientes de indivíduos heterozigotos:

[...] Equal segregation of the  $Y$  and  $y$  alleles in the heterozygous  $F_1$  results in gametes, both male and female, half of which are  $Y$  and half of which are  $y$ . Male and female gametes fuse randomly at fertilization, with the results shown in the grid in Figure 2-12. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p.41).

A figura mencionada na citação está reproduzida abaixo, renumerada como Figura 2 neste trabalho. Ela apresenta quatro possíveis combinações entre os gametas.

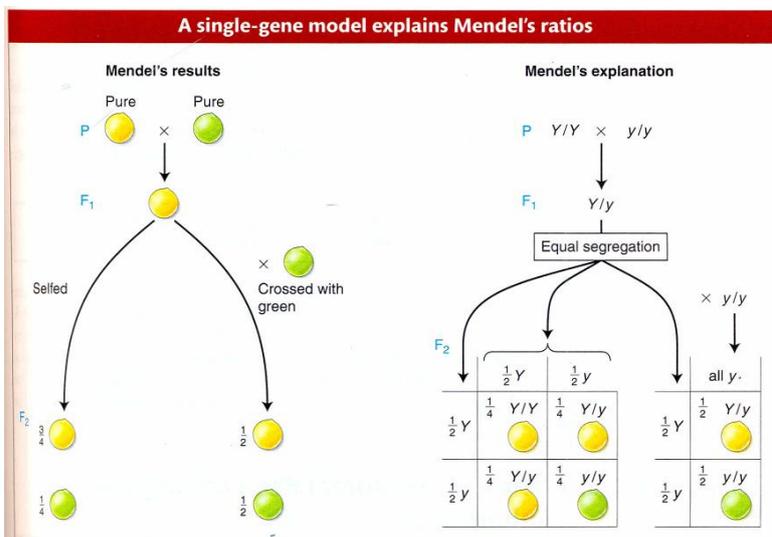


Figura 2 - Figura (2.12), apresentada pela referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 41) para descrever os resultados possíveis para o cruzamento de dois híbridos

O LDA se aproxima da referência ao mostrar que os gametas masculinos e femininos combinam-se aleatoriamente na fecundação, havendo quatro possibilidades de combinação:

- Na autofecundação dos híbridos, quatro tipos de encontro de gametas são possíveis:
1. óvulo com fator para estatura alta (A) e pólen com fator para estatura alta (A);
  2. óvulo com fator para estatura alta (A) e pólen com fator para estatura baixa (a);
  3. óvulo com fator para estatura baixa (a) e pólen com fator para estatura alta (A);
  4. óvulo com fator para estatura baixa (a) e pólen com fator para estatura baixa (a)
- (LDA, v. 3, p. 23).

3.2.2.22 Três diferentes genótipos são possíveis a partir do encontro entre os gametas provenientes de indivíduos heterozigotos

Baseando-se nos postulados mendelianos, a referência menciona que existem três tipos de genótipos possíveis do cruzamento entre os indivíduos da geração F<sub>1</sub>: indivíduos homozigotos portadores de alelos dominantes; indivíduos heterozigotos, com um alelo dominante e outro recessivo; e indivíduos homozigotos, portadores de dois alelos recessivos. A proporção entre tais genótipos seria de 1:2:1:

[...] Male and female gametes fuse randomly at fertilization, with the results shown in the grid in Figure 2-12. The composition of the  $F_2$  is three-fourths yellow seeds and one-fourth green, a 3: 1 ratio. The one-fourth of the  $F_2$  seeds that are green breed true as expected of the genotype  $y/y$ . However, the yellow  $F_2$  seeds (totaling three-fourths) are of two genotypes: two-thirds of them are clearly heterozygotes  $Y/y$ , and one-third are homozygous dominant  $Y/Y$ . Hence, we see that underlying the 3: 1 phenotypic ratio in the  $F_2$  is a 1: 2: 1 genotypic ratio:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{1}{4} Y/Y \text{ yellow} \\ \frac{2}{4} Y/y \text{ yellow} \\ \frac{1}{4} y/y \text{ green} \end{array} \right\} \frac{3}{4} \text{ yellow } (Y/-)$$

(GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 41).

Mencionando as proporções mendelianas, O LDB aproxima-se da referência ao também afirmar que esses três genótipos seriam possíveis com o cruzamento dos descendentes da geração  $F_1$ , na proporção 1:2:1: “Cruzamos agora dois descendentes de  $F_1$ :  $F_2$  = Quanto ao genótipo: 25 % RR puras 50 % vermelhas Rr 25 % rr puras” (LDB, p. 262).

A mesma aproximação foi encontrada no LDC (ANEXO F).

3.2.2.23 Dois diferentes fenótipos são possíveis a partir do encontro entre os gametas provenientes de indivíduos heterozigotos

Conforme já verificado na citação anterior 3.2.2.22, a referência menciona que dois fenótipos são visíveis na  $F_2$ . Indivíduos homozigotos dominantes e heterozigotos terão o fenótipo dominante. Indivíduos homozigotos recessivos terão o fenótipo recessivo.

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar que dois fenótipos são possíveis através do cruzamento dos indivíduos da geração  $F_1$ : “Na situação 1, as sementes serão altas puras; nos casos 2 e 3, serão altas híbridas; no caso 4, serão anãs. Uma vez que os quatro tipos de encontro de gametas têm a mesma chance de ocorrer, formam-se três plantas altas para cada planta anã. [...]” (LDA, v. 3, p. 23).

### 3.2.2.24 Indivíduos homozigotos dominantes ou heterozigotos possuem o mesmo fenótipo e indivíduos homozigotos recessivos apresentam outro fenótipo

Conforme foi possível verificar na citação apresentada a pouco na seção 3.2.2.22, a referência afirma que os indivíduos que são homozigotos dominantes e heterozigotos apresentam um mesmo fenótipo. Já os indivíduos homozigotos recessivos possuem um segundo fenótipo.

O LDC aproxima-se da referência ao também mencionar a ocorrência de um mesmo fenótipo para indivíduos homozigotos dominantes e heterozigotos e um fenótipo diferente para os homozigotos recessivos: “Plantas de genótipos BB e Bb exibem o mesmo fenótipo (flores purpúreas) e apenas as plantas de genótipo bb têm flores brancas” (LDC, p. 122).

### 3.2.2.25 Os genes são parte dos cromossomos

A referência diz que os genes são partes dos cromossomos, estando, portanto, inseridos neles:

In all organisms, the *genes are transcribed segments* arrayed along the DNA of a chromosome [...].  
The embedding of genes within chromosomes, reviewed in the preceding section, is critical to understanding the way in which genes are passed on through generations [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 37).

O LDJ aproxima-se da referência ao também dizer que os genes são segmentos dos cromossomos: “[...] A gene is the segment of DNA on a chromosome that controls a particular hereditary trait”. (LDJ, p. 178).

O LDL também se aproxima da referência ao dizer que os genes estão localizados nos cromossomos:

Gregor Mendel did not know where the genes he had discovered were located. Fortunately, his predictions of how genes should behave were so specific that it was not long before biologists were certain they had found them-on the chromosomes.

The chromosomal theory of inheritance states that genes are located in specific positions on chromosomes (LDL, p. 275).

### 3.2.2.26 Os genes encontram-se aos pares, assim como os cromossomos

De acordo com a referência, os genes estão organizados em pares, pois estão localizados em pares de cromossomos: “[...] Now, we understand that gene pairs are located on chromosome pairs and that it is the members of a chromosome pair that actually segregate, carrying the genes with them. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 42).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que os genes ocorrem em pares, pois estão localizados em cromossomos que também se apresentam aos pares: “[...] A gene is the segment of DNA on a chromosome that controls a particular hereditary trait. Because chromosomes occur in pairs, genes also occur in pairs. [...]” (LDJ, p. 178).

O LDL aproxima-se da referência ao dizer que, assim como os cromossomos se encontram em pares em uma célula adulta, os genes também se encontram em pares: “[...] Diploid cells contain two complete sets of chromosomes and two complete sets of genes. This agrees with Mendel's idea that the cells of an adult organism contain two copies of each gene [...]” (LDL, p. 275).

## 3.2.3 Padrões de Herança: Segunda lei de Mendel

3.2.3.1 O cruzamento entre dois indivíduos puros com fenótipos diferentes para duas características diferentes pode resultar em indivíduos apenas com as características dominantes

Ao descrever os cruzamentos que Mendel realizou entre linhagens puras diferentes para duas características, a referência menciona que, desse tipo de cruzamento, pode-se

observar a geração apenas de indivíduos com as características dominantes para ambas as características consideradas:

[...] To perform a dihybrid cross, Mendel started with two pure parental lines. One line had wrinkled, yellow seeds. Because Mendel had no concept of the chromosomal location of genes, we must use the dot representation to write the combined genotype initially as  $r/r \cdot Y/Y$ . The other line had round, green seeds, with genotype  $R/R \cdot y/y$ . When these two lines were crossed, they must have produced gametes that were  $r \cdot Y$  and  $R \cdot Y$ , respectively. Hence, the  $F_1$  seeds had to be dihybrid, of genotype  $R/r \cdot Y/y$ . Mendel discovered that the  $F_1$  seeds were round and yellow. This result showed that the dominance of  $R$  over  $r$  and  $Y$  over  $y$  was unaffected by the condition of the other gene pair in the  $R/r \cdot Y/y$  dihybrid. Next, Mendel selfed the dihybrid  $F_1$  to obtain the  $F_2$  generation (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 91).

Ao mencionar cruzamento mendeliano similar, o LDA também aponta para a geração filial ser composta por indivíduos portadores de apenas um dos fenótipos para cada característica:

Além de estudar isoladamente diversas características fenotípicas da ervilha, Mendel estudou também a transmissão combinada de duas ou mais características. Em um de seus experimentos, por exemplo, ele considerou simultaneamente a cor dos cotilédones, que faz a semente ser amarela ou verde, e a textura dos cotilédones, que faz a semente ser lisa ou rugosa.

Plantas de ervilha originadas de sementes puras amarelas e lisas, ambos traços dominantes, foram cruzadas com plantas originadas de sementes verdes e rugosas, traços recessivos. Todas as sementes produzidas na geração  $F_1$  eram amarelas e lisas (LDA, v. 3, p. 63).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC, LDK e LDL (ANEXO G).

3.2.3.2 A autofecundação dos diíbridos de  $F_1$  pode originar indivíduos de quatro tipos, sendo a proporção entre eles de 9:3:3:1

Continuando a descrever os experimentos mencionados nas citações da seção 3.2.3.1, a referência afirma que a autofecundação dos indivíduos diíbridos de uma primeira geração filial ( $F_1$ ) resulta em uma segunda geração filial ( $F_2$ ) com 4 tipos diferentes de indivíduos, sendo a proporção entre eles de 9:3:3:1:

[...] Next, Mendel selfed the dihybrid  $F_1$  to obtain the  $F_2$  generation. The  $F_2$  seeds were of four different types in the following proportions:  
9/16 round, yellow  
3/16 round, green  
3/16 wrinkled, yellow  
1/16 wrinkled, green (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 91).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar a autofecundação dos indivíduos resultados na geração  $F_1$  e a obtenção da proporção 9:3:3:1 entre os quatro fenótipos possíveis de indivíduos para a geração  $F_2$ :

A geração  $F_2$ , obtida pela autofecundação das plantas originadas das sementes de  $F_1$  era composta de quatro tipos de sementes: amarelas-lisas, amarelas-rugosas, verdes-lisas e verdes-rugosas.  
Seguindo sua idéia de quantificar os resultados obtidos nos cruzamentos, Mendel contou os quatro tipos de sementes de  $F_2$ , descobrindo que elas se distribuíam aproximadamente nas seguintes frações: 9/16 amarelas-lisas; 3/16 amarelas-rugosas; 3/16 verdes-lisas; 1/16 verde-rugosa. Em proporção, essas frações representam 9 amarelas-lisas: 3 amarelas-rugosas: 3 verdes-lisas: 1 verde-rugosa (LDA, v. 3, p. 63).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDK e LDL (ANEXO G).

### 3.2.3.3 Os fenótipos dominantes não aparecem sempre juntos

Conforme citação apresentada na seção 3.2.3.2, os resultados dos experimentos de Mendel apresentados pela referência mostram que os fenótipos considerados dominantes não aparecem necessariamente sempre juntos.

O LDJ aproxima-se da referência ao também dizer que aqueles fenótipos determinados por fatores dominantes podem não aparecer juntos. Ao mencionar os resultados obtidos por Mendel em seus experimentos com diíbridos, os autores comentam que: “The data from more complex crosses showed that traits produced by dominant factors do not necessarily appear together” (LDJ, p. 177).

### 3.2.3.4 Em $F_2$ surgem combinações diferentes das encontradas nos parentais

Conforme citações apresentadas nas seções 3.2.3.1 e 3.2.3.2, de acordo com a referência, as combinações entre as duas características analisadas em  $F_2$  podem ser iguais ou diferentes daquelas presentes nos parentais.

O LDL aproxima-se da referência ao também mencionar que as combinações das características em  $F_2$  podem ser as mesmas dos parentais ou podem apresentar um novo arranjo:

In Mendel's experiment, the  $F_2$  plants produced 556 seeds. Mendel compared the variation in the seeds. He observed that 315 seedswere round and yellow and another 32 were wrinkled and green, the two parental phenotypes. However, 209 of the seeds had combinations of phenotypes - and therefore combinations of alleles - not found in either parent. [...] (LDL, p. 271).

### 3.2.3.5 A explicação de Mendel para a proporção 9:3:3:1 é de que genes segregam independentemente na formação dos gametas<sup>54</sup>

Para explicitar conclusões a respeito dos resultados obtidos por Mendel, primeiramente, a referência utiliza uma explicação matemática. Para tanto, analisaram-se os números obtidos nos cruzamentos para cada característica isoladamente em  $F_2$ , e obteve-se uma proporção fenotípica de 3:1. A presença de tais proporções dentro da proporção 9:3:3:1 teria levado Mendel a perceber que haveria uma combinação aleatória das proporções.

First, let's check the actual numbers obtained by Mendel in Figure 3-3 to determine if the monohybrid 3:1 ratios can still be found in the  $F_2$ . In regard to seed shape, there are 423 round seeds (315 + 108) and 133 wrinkled seeds (101+ 32). This result is close to a 3:1 ratio. Next, in regard to seed color, there are 416 yellow seeds (315 + 101) and 140 green (108 + 32), also very close to a 3:1 ratio. The presence of these

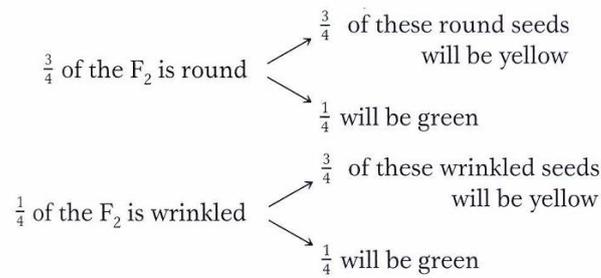
---

<sup>54</sup> Nesta seção, diferentemente das demais, buscou-se elementos de referência na História da Ciência, a fim de compreender a denominação das leis mendelianas, uma vez que a bibliografia de referência não se mostrou suficiente para a compreensão dos distanciamentos e aproximações presentes nas informações analisadas.

two 3:1 ratios hidden in the 9:3:3:1 ratio was undoubtedly a source of the insight that Mendel needed to explain the 9:3:3:1 ratio, because he realized that it was simply two different 3:1 ratios combined at random. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 77).

Para ilustrar tais conclusões para essa combinação aleatória, os autores utilizam um diagrama e explicam que, ao se realizar multiplicações entre as proporções para cada um dos resultados possíveis, obtém-se a proporção 9:3:3:1:

[...] One way of visualizing the random combination of these two ratios is with a branch diagram, as follows:



The proportions of the four possible outcomes are calculated by using the product rule to multiply along the branches in the diagram. For example,  $\frac{3}{4}$  of  $\frac{3}{4}$  is calculated as  $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$  which equals  $\frac{9}{16}$ . These multiplications give the following four proportions:

$$\begin{aligned} \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} &= \frac{9}{16} \text{ round, yellow} \\ \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} &= \frac{3}{16} \text{ round, green} \\ \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} &= \frac{3}{16} \text{ wrinkled, yellow} \\ \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} &= \frac{1}{16} \text{ wrinkled, green} \end{aligned}$$

These proportions constitute the 9:3:3:1 ratio that we are trying to explain. [...]. (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 92).

Posteriormente, os autores trazem as conclusões a respeito dos resultados obtidos por Mendel, apresentando uma explicação biológica. Utilizando termos modernos, eles dizem que Mendel teria concluído que há a combinação independentemente dos genes na formação dos gametas:

[...] However, is this exercise not merely number juggling? What could the combination of the two 3:1 ratios mean biologically? The way that Mendel phrased his explanation does in fact amount to a biological mechanism. In what is now

known as Mendel's Second Law, he concluded that different gene pairs assort independently in gamete formation. The consequence is that, for two heterozygous gene pairs A/a and B/b, the b allele is just as likely to end up in a gamete with an a allele as with an A allele, and likewise for the B allele. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 92).

O LDJ aproxima-se da referência ao mencionar que a hipótese proposta por Mendel para explicar o resultado de tais cruzamentos era de que os fatores determinantes de cada característica analisada combinam-se independentemente durante a formação dos gametas: “Mendel concluded that the factors for individual characteristics are not connected. [...] The **law of independent assortment** states that factors separate independently of one another during the formation of gametes” (LDJ, p. 178).

Pode-se verificar que tanto o LDJ como os LDK e LDL (ANEXO G) mencionam que, de acordo com a “lei da combinação independente” (*independent assortment*), os fatores segregam independentemente na formação dos gametas.

Já o LDA também menciona que a hipótese proposta por Mendel para explicar o resultado de tais cruzamentos era de que os alelos determinantes de cada característica analisada *segregam independentemente* durante a formação dos gametas:

Com base nesse e em outros experimentos, Mendel aventou a hipótese de que, na formação dos gametas de plantas híbridas, os alelos para a cor da semente (V/v) segregam-se independentemente dos alelos que condicionam a forma da semente (R/r). Ou seja, um gameta portador do alelo V pode conter tanto o alelo R como o alelo r, com iguais chances, e o mesmo ocorre com os gametas portadores do alelo v, que podem receber tanto o alelo R como o alelo r, com iguais chances (LDA, v. 3, p. 63).

Ainda é possível verificar que os autores também se referem à ocorrência de combinação dos alelos: “A segunda lei de Mendel pode ser enunciada como a seguir. Os fatores para duas ou mais características segregam-se no híbrido, distribuindo-se independentemente para os gametas, onde se combinam ao acaso” (LDA, v. 3, p. 66). O mesmo ocorre no LDC (ANEXO G).

O termo *segregação independente* é ainda utilizada pelo LDB (ANEXO G).

As expressões *combinação independente* (*independent assortment*) e *segregação independente* referem-se a dois eventos de um mesmo processo, pois estariam se referindo tanto ao fato de que os genes separam-se independentemente como que, por conta dessa separação, há um agrupamento independente na formação dos gametas. Ambas as expressões

são utilizadas para explicar os dados mendelianos e, de fato, de acordo com os conhecimentos apresentados pela referência, os dois eventos ocorreriam e estariam ocasionando o mesmo resultado.

Na versão em língua portuguesa da referência, a expressão *segregação independente* é utilizada como correspondente a *independent assortment* utilizada pela versão inglesa:

[...] No que hoje é conhecido como a Segunda Lei de Mendel, ele concluiu que pares diferentes de genes segregam-se independentemente na formação de gametas. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 78).

Vogel e Motulsky (1996) também utilizam tanto o termo *independent segregation* como *independent assortment* para explicar tais resultados mendelianos para cruzamentos diíbridos: “When organisms differing in more than one gene pair are crossed every single gene pair segregates independently, and the resulting segregation ratios follow the statistical law of independent segregation (law of free combination of genes)” (VOGEL; MOTULSKY, 1996, p. 129).

Entretanto, o termo *segregação independente (independent segregation)* é utilizado por Watson *et al.* (2008) para explicar os resultados mendelianos dos cruzamentos monoíbridos, utilizando apenas o termo *independent assortment* para explicar aqueles provenientes dos cruzamentos diíbridos:

The reappearance of the recessive characteristic in the F<sub>2</sub> generation indicates that recessive alleles are neither modified nor lost in the F<sub>1</sub> (Rr) generation, but that the dominant and recessive genes are independently transmitted and so are able to segregate independently during the formation of sex cells. This **principle of independent segregation** is frequently referred to as Mendel’s first law (WATSON *et al.*, 2008, p 7-8).

Portanto, as referências se diferenciam na utilização de tais termos.

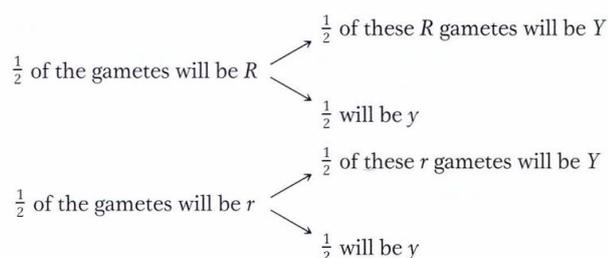
Mendel (1866a) não nomeia, não delinea nem numera suas leis. Esse fato é mencionado também por Freire-Maia (1995). Segundo esse autor, elas são fruto das interpretações dos leitores do trabalho de Mendel. Assim, há desde aqueles que consideraram que há apenas uma, como aqueles que chegaram a listar seis leis. Do mesmo modo, o conteúdo de cada lei também é variável de acordo com o entendimento daqueles que as nomeiam.

3.2.3.6 Há iguais chances de combinação entre os alelos na formação dos gametas, decorrentes da segregação independente desses alelos

Apresentando as explicações para os resultados mendelianos, a referência demonstra matematicamente como é possível a obtenção de proporções iguais de diferentes formações de gametas nos cruzamentos díbridos mencionados.

Para tanto, utiliza-se novamente de um diagrama para mostrar as proporções possíveis na composição de gametas em um díbrido com genes localizados em cromossomos diferentes. Nesse caso, a proporção resultada será de  $\frac{1}{2}$  para cada gene isolado e de  $\frac{1}{4}$  para quando dois genes são analisados conjuntamente (o que pode-ser obtido pela multiplicação das proporções para cada resultado individual), seja qual for a combinação:

We have explained the 9:3:3:1 phenotypic ratio as two randomly combined 3:1 phenotypic ratios. But can we also arrive at the 9:3:3:1 ratio from a consideration of the frequency of gametes, the actual meiotic products? Let us consider the gametes produced by the  $F_1$  dihybrid  $R/r; Y/y$  (the semicolon shows that we are now embracing the idea that the genes are on different chromosomes). Again, we will use the branch diagram to get us started because it illustrates independence visually. Combining Mendel's laws of equal segregation and independent assortment, we can predict that



Multiplication along the branches according to the product rule gives us the gamete proportions:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{4} R ; Y \\ &\frac{1}{4} R ; y \\ &\frac{1}{4} r ; Y \\ &\frac{1}{4} r ; y \end{aligned}$$

(GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 92).

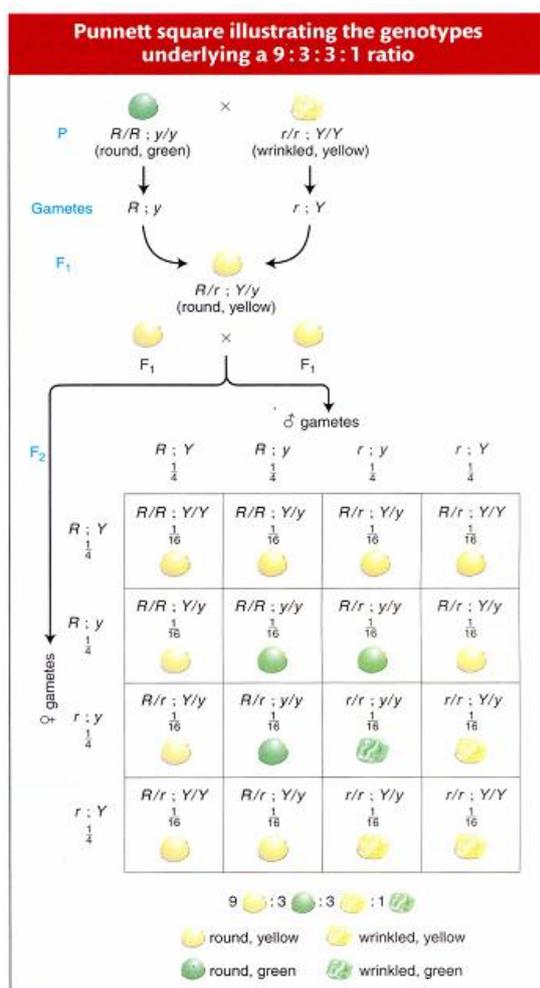
O LDA aproxima-se da referência ao mencionar que há chances iguais de ocorrer diferentes combinações entre os alelos na formação dos gametas: “Ou seja, um gameta portador do alelo V pode conter tanto o alelo R como o alelo r, com iguais chances, e o mesmo ocorre com os gametas portadores do alelo v, que podem receber tanto o alelo R como o alelo r, com iguais chances” (LDA, v. 3, p. 63).

Essa mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDC e LDK (ANEXO G).

3.2.3.7 Os gametas combinam-se aleatoriamente durante a fecundação, possibilitando também a proporção 9:3:3:1

Como é possível notar na citação a seguir, a referência explica que, para se chegar à proporção 9:3:3:1, basta considerar que os tipos gaméticos podem se combinar aleatoriamente durante a fertilização, e mostra isso utilizando o quadrado de Punnett (Figura 3):

[...] The four female gametic types will be fertilized randomly by the four male gametic types to obtain the  $F_2$ . The best graphic way of showing the outcomes of the cross is by using a 4 X 4 grid called a *Punnett square*, which is depicted in Figure 3-4. [...] In the Punnett square in Figure 3-4, for example, four rows and four columns were drawn to correspond in size to the four genotypes of female gametes and the four of male gametes. We see that there are 16 boxes representing the various gametic fusions and that each box is 1/16th of the total area of the grid. In accord with the product rule, each 1/16th is a result of the fertilization of one egg type at frequency 1/4 by one sperm type also at frequency 1/4 giving the frequency of that fusion as  $(1/4)^2$  (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 93).



**FIGURE 3-4** We can use a Punnett square to predict the result of a dihybrid cross. This Punnett square shows the predicted genotypic and phenotypic constitution of the F<sub>2</sub> generation from a dihybrid cross.

Figura 3 - Figura 3-4 apresentada por Griffiths *et al.* (2008b, p. 93) para ilustrar como a divisão meiótica origina os diferentes tipos gaméticos e, em seguida, a união aleatória de tais gametas através da fecundação gera a proporção fenotípica 9:3:3:1 obtida por Mendel, no caso do cruzamento de indivíduos diíbridos para genes não localizados no mesmo cromossomo

O LDC aproxima-se da referência ao dizer que as diversas maneiras de os gametas se combinarem apresentam a mesma proporção: “Na geração F<sub>2</sub>, esses gametas podem se combinar de várias maneiras, todas com a mesma probabilidade” (LDC, p. 138).

O LDA também se aproxima da referência ao dizer que a combinação aleatória dos gametas durante a fecundação também explica a proporção fenotípica de 9:3:3:1 na prole gerada:

Assim, uma planta duplo-heterozigótica VvRr formaria, de acordo com a hipótese da segregação independente, quatro tipos de gameta em igual proporção: 1 VR : 1 Vr : 1 vR : 1 vr. A combinação ao acaso desses gametas para formar a geração F<sub>2</sub> resultaria na proporção 9:3:3:1 observada nos experimentos (LDA, v. 3, p. 64).

3.2.3.8 O cruzamento entre dois indivíduos puros com fenótipos diferentes para duas características diferentes pode resultar em indivíduos heterozigotos

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.3.1, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), o cruzamento entre dois indivíduos puros com fenótipos diferentes para duas características diferentes resulta em indivíduos heterozigotos.

O LDK aproxima-se da referência ao também mencionar que o cruzamento entre dois indivíduos homozigotos para duas características resulta em indivíduos heterozigotos para ambas:

[...] In garden peas, round seeds (*R*) are dominant to wrinkled seeds (*r*), and yellow seeds (*Y*) are dominant to green seeds (*y*). If Mendel crossed homozygous yellow, round-seed pea plants with homozygous green, wrinkle-seed pea plants, the P cross could be represent by YYRR X yyrr. The F<sub>1</sub> generation genotype would be YyRr – yellow, roun-*g*-seed plants. [...] (LDK, p. 280).

A mesma aproximação foi encontrada no LDL (ANEXO G).

3.2.3.9 O cruzamento entre dois indivíduos díbridos pode resultar em nove diferentes genótipos

Conforme a Figura 3 anteriormente apresentada, de acordo com a referência, nove são os genétipos possíveis em F<sub>2</sub> decorrentes dos cruzamentos entre os díbridos originados em F<sub>1</sub>.

O LDK aproxima-se da referência mencionar essas nove combinações possíveis: “[...]. The results of Mendel’s dihybrid cross included nine different genotypes: YYRR, YYRr, YYrr, YyRR, YyRr, Yyrr, yyRR, rrRr and yyrr [...]” (LDK, p. 280).

3.2.3.10 A segregação independente dos genes mencionada pela segunda lei de Mendel pode ser associada à segregação independente dos cromossomos homólogos na formação dos gametas

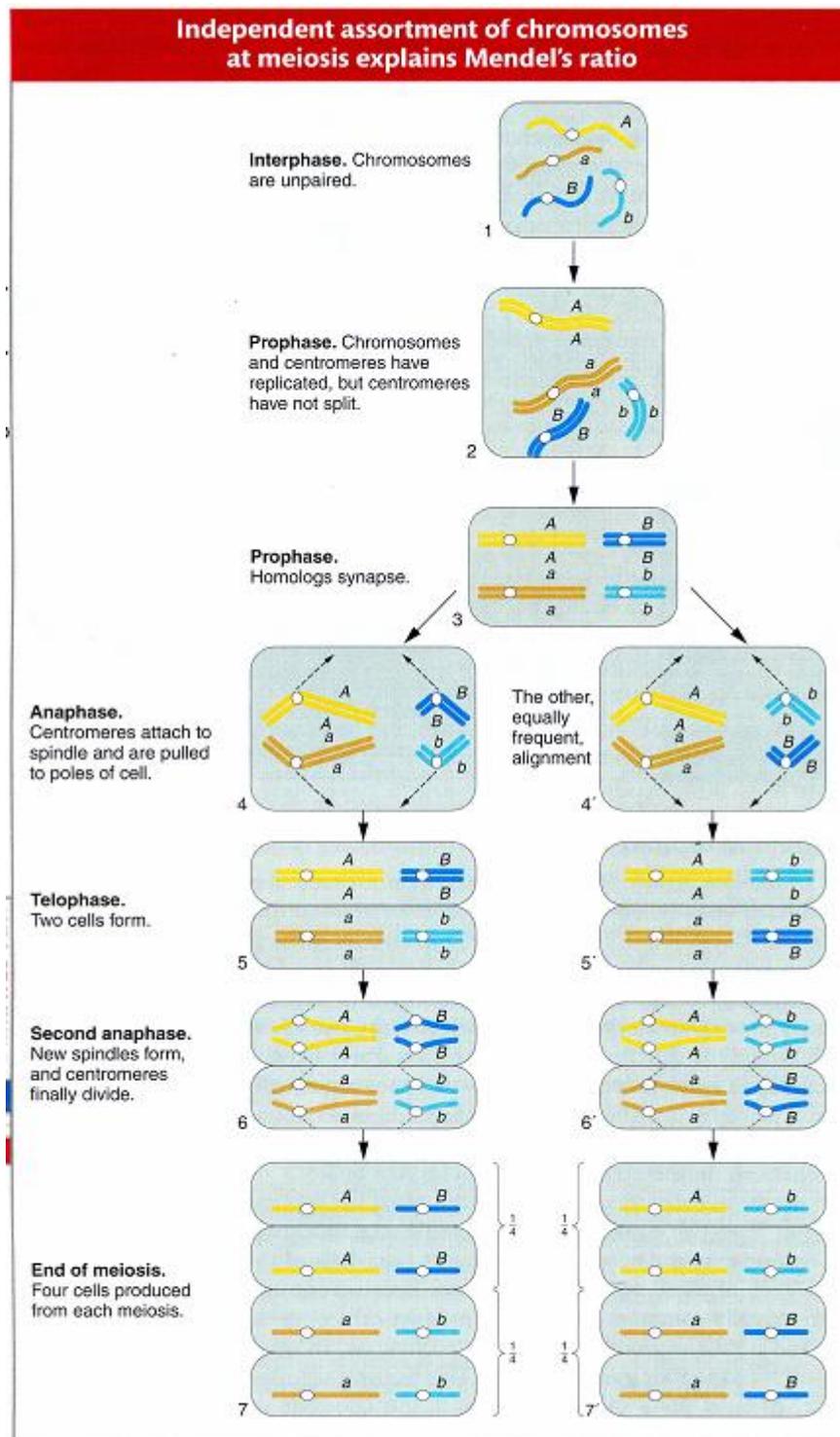
A referência mostra, por meio do exemplo a seguir, que a segregação independente dos genes proposta pela segunda lei mendeliana pode ser associada à segregação independente dos cromossomos homólogos durante a meiose. Os pares de genes analisados estariam localizados em pares diferentes de cromossomos homólogos.

The chromosomal basis of the law of independent assortment is formally diagrammed in Figure 3-8, which illustrates how the separate behavior of two different chromosome pairs gives rise to the 1:1:1:1 Mendelian ratios of gametic types expected from independent assortment. The hypothetical cell has four chromosomes: a pair of homologous long chromosomes and a pair of homologous short ones. The genotype of the meiocytes is A/a; B/b, and the two allelic pairs, A/a and B/b, are shown on two different chromosome pairs. Parts 4 and 4' of Figure 3-8 show the key step in independent assortment: there are two equally frequent allelic segregation patterns, one shown in 4 and the other in 4'. In one case, the A/A and B/B alleles are pulled together into one cell, and the a/a and b/b are pulled into the other cell. In the other case, the alleles A/a and b/b are united in the same cell [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 103).

A figura 3.8 mencionada na citação anterior encontra-se a seguir, no presente texto, identificada como Figura 4

O LDA aproxima-se da referência ao mostrar que a segregação independente dos alelos está associada à segregação independente dos cromossomos durante a meiose: “[...] Durante a meiose, homólogos de origem materna e paterna segregam-se com total independência uns dos outros, fazendo com que os genes localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos segreguem-se independentemente. [...]” (LDA, v. 3, p. 66).

Essa mesma aproximação foi encontrada nos LDC e LDJ (ANEXO G).



**FIGURE 3-8** Meiosis in a diploid cell of genotype  $A/a ; B/b$ . The diagram shows how the segregation and assortment of different chromosome pairs give rise to the 1:1:1:1 Mendelian gametic ratio. 

Figura 4 - Figura apresentada por Griffiths *et al.* (2008b, p. 104) para ilustrar a base cromossômica da segregação independente

### 3.2.3.11 Antes de iniciar a meiose, os genes se duplicam juntamente com os cromossomos

De acordo com Watson *et al.* (2007), os genes são geralmente copiados durante a duplicação dos cromossomos: “Genes are normally copied exactly during chromosome duplication. Rarely, however, changes (**mutations**) occur in genes to give rise to altered forms, most – *but not all* – of which function less well than wild-type alleles [...]” (WATSON *et al.*, 2007, p. 15).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que os genes os genes se duplicam junto com os cromossomos: “Pouco antes de a meiose ter início, cada cromossomo e seus genes duplicam-se” (LDA, v. 3, p. 66).

### 3.2.3.12 Os genes migram para os polos das células junto com os cromossomos

Como é possível verificar nas citações anteriores (mencionadas na seção 3.2.2.26 e 3.2.3.10), a referência menciona que, na meiose, os genes migram para os polos das células junto com os cromossomos, formando duas novas células.

O LDA aproxima-se da referência ao também referir que os genes migram com os cromossomos para os polos das células, dando origem a novas células. Utilizando como exemplo a meiose ocorrida em um diíbrido AaBb, os autores mencionam que:

Durante a divisão meiótica, os membros de cada par de cromossomos homólogos emparelham-se e orientam-se em direção aos pólos da célula. Duas situações, então, podem ocorrer:

1. o cromossomo portador do alelo dominante **A** liga-se ao mesmo pólo da célula do cromossomo portador do alelo dominante **B**; conseqüentemente, o cromossomo portador do alelo recessivo **a** liga-se ao mesmo pólo do cromossomo portador de **b**;
  2. o cromossomo portador do alelo dominante **A** liga-se ao mesmo pólo da célula do cromossomo portador do alelo recessivo **b**; conseqüentemente, o cromossomo portador do alelo dominante **B** liga-se ao mesmo pólo do cromossomo portador de **a**.
- Se ocorrer a situação 1, formar-se-ão, no final da meiose, dois tipos de célula: **AB** e **ab**. Se ocorrer a situação 2, formar-se-ão outros dois tipos de célula: **Ab** e **aB** (LDA, v. 3, p. 66).

3.2.3.13 Na meiose de diíbridos, duas situações são possíveis de ocorrer durante a segregação dos cromossomos e seus alelos

Nas citações anteriores (mencionadas no item 3.2.3.10 e 3.2.3.12), foi possível verificar que, de acordo com a referência, na meiose de um diíbrido, duas situações poderiam ocorrer: uma possibilidade é os cromossomos que possuem os alelos dominantes migrarem para uma das células e os que possuem os alelos recessivos, para a outra; a segunda possibilidade seria o alelo dominante de uma característica migrar juntamente com o alelo recessivo de outra característica para uma das células e o alelo dominante da primeira característica migrar juntamente com o alelo recessivo da segunda característica para a outra célula.

Conforme citações anteriores (mencionada no item 3.2.3.12), o LDA também se aproxima da referência ao apresentar as mesmas possibilidades.

3.2.3.14 Há a mesma chance de ocorrer as duas possibilidades de segregação independente em diíbrido e quatro produtos alelos são possíveis na proporção 1:1:1:1

Quanto às duas possibilidades de segregação mencionadas na seção anterior 3.2.3.13, segundo a referência, elas podem ocorrer em igual frequência, possibilitando quatro diferentes genótipos, que ocorrem cada qual com  $\frac{1}{4}$  de frequência (ou seja, na proporção de 1:1:1:1): “[...] Because segregation patterns 4 and 4’ are equally common, the meiotic product cells of genotypes A; B, a ; b, A ; b, and a ; B are produced in equal frequencies. In other words, the frequency of each of the four genotypes is  $\frac{1}{4}$ . [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 103).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que ambas as situações têm igual chance de ocorrer e que elas propiciam quatro produtos gaméticos na proporção de 1:1:1:1:

Como a chance de cada célula em meiose seguir um ou outro desses dois caminhos é a mesma, é de esperar que em cerca de metade das células ocorra a primeira situação, com produção de gametas **AB** e **ab**, enquanto na outra metade ocorrerá a segunda situação, com produção de gametas **Ab** e **aB**.

Isso explica por que um indivíduo heterozigótico para dois genes **AaBb**, localizados em diferentes pares de cromossomos, produzirá quatro tipos de gametas haplóides, com quatro combinações gênicas, na proporção de **1AB : 1Ab : 1aB : 1ab** (LDA, v. 3, p. 66).

Assim como o LDA, o LDB também se aproxima da referência ao dizer que os fatores segregam-se independentemente na formação dos gametas com a mesma probabilidade: “Quando dois ou mais de dois pares de genes alelos, localizados em cromossomos homólogos diferentes, não se fundem no heterozigoto, cada um deles age e segrega independente do outro, totalmente ao acaso e com a mesma probabilidade, na formação dos gametas” (LDB, p. 267).

O LDC também se aproxima da referência ao dizer que a segregação independente propicia quatro produtos gaméticos na proporção de 1:1:1:1 (ANEXO G).

### 3.2.3.15 A segregação independente dos alelos ocorre geralmente porque os genes estão localizados em cromossomos diferentes

A referência menciona que, na maior parte dos casos, a segregação independente dos genes se dá devido ao fato de estes estarem localizados em cromossomos diferentes. Geralmente, ela não se aplica para genes encontrados no mesmo cromossomo. Dessa forma, a referência apresenta uma versão moderna da chamada segunda lei mendeliana:

[...] With hindsight, we now know that, for the most part, this "law" applies to genes on different chromosomes. Genes on the same chromosome generally do not assort independently, because they are held together by the chromosome itself. Hence, the modern version of Mendel's Second Law is stated as in the following Message.

**Message** Mendel's Second Law (the principle of independent assortment) states that gene pairs on different chromosome pairs assort independently at meiosis.

(GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 92).

Entretanto, no glossário, os autores deixam claro que a lei da segregação independente pode ocorrer em genes que estiverem localizados no mesmo cromossomo, se houver uma

longa distância entre eles: “**Mendel's second law** The law of independent assortment; unlinked or distantly linked segregating gene pairs assort independently at meiosis” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 791).

Watson *et al.* (2007) também comentam o fato de a combinação independente dos gametas não ocorrer em genes localizados no mesmo cromossomo, mas que isso nem sempre ocorre devido ao processo de *crossing over*:

Mendel's principle of independent assortment is based on the fact that genes located on different chromosomes behave independently during meiosis. Often, however, two genes do not assort independently because they are located on the same chromosome (linked genes; see Box 1-2, Genes Are Linked to Chromosomes). Many examples of non random assortment were found as soon as a large number of mutant genes became available for breeding analysis. [...] Linkage, however, is in effect never complete. The probability that two genes on the same chromosome will remain together during meiosis ranges from just less than 100% to nearly 50%. This variation in linkage suggests that there must be a mechanism for exchanging genes on homologous chromosomes. This mechanism is called crossing over (Watson *et al.*, 2007, p. 9-11).

O LDJ se aproxima da referência quando os autores dizem que a lei da segregação independente pode ocorrer em genes presentes em cromossomos ou genes que estiverem localizados no mesmo cromossomo, se houver uma longa distância entre eles: “Therefore, the law of independent assortment is observed only for genes located on separate chromosomes or located far apart on the same chromosome” (LDJ, p. 178).

Já o LDA distancia-se da referência ao dizer que a segregação independente observada por Mendel ocorre apenas em cromossomos não homólogos:

Assim, o princípio da segregação independente, observado originalmente por Mendel, é válido apenas para genes localizados em diferentes pares de cromossomos. Quando dois ou mais genes estão localizados no mesmo par de cromossomos homólogos, eles não se segregam independentemente [...] (LDA, v. 3, p. 66).

O mesmo distanciamento pode ser evidenciado pelo LDC (ANEXO G).

Tais distanciamentos foram localizados no capítulo sobre segregação independente. Entretanto, no LDA, no capítulo seguinte, sobre mapeamento, os autores falam sobre a possibilidade da ocorrência de permuta. Porém, os comentários de exercícios no manual do professor deixam claro que, para os autores, a expressão *segregação independente* só é aplicada no caso em que a combinação entre genes diferente daquelas encontradas na geração

parental não tenha sido ocasionada por permuta: “Apesar de terem sido produzidos quatro tipos de gametas, a proporção não foi de 1:1:1:1, indicando que os dois genes não estão se segregando independentemente, ocorrendo ligação gênica entre eles” (LDA, v. 3, Manual do professor, p. 47).

O LDC também apresenta uma seção sobre ligação gênica e permuta. Entretanto, os autores não mencionam se os produtos resultados do *crossing over* podem ou não ser considerados como resultados de uma “segregação independente”.

Portanto, fica evidente, em ambos os livros, o uso do termo *segregação independente* apenas nos casos que obedecem a segunda lei mendeliana. Essa parece ser uma estratégia adotada pelos autores para diferenciar a menção de modelos diferentes de herança. Apesar de não utilizarem o mesmo sentido adotado pela referência, não deixam, entretanto, de fazer menção à possibilidade de genes situados no mesmo cromossomo não herdarem juntos para um mesmo gameta, mantendo, desse modo, a essência do conhecimento ensinado.

### 3.2.4 Expressão Gênica (Síntese proteica)<sup>55</sup>

3.2.4.1 O DNA e o RNA possuem informações ou mensagens que são utilizadas na síntese de proteínas

A referência utiliza a metáfora da *informação*, dizendo que ela está “codificada” no DNA, que é transferida para o RNA e determina a produção de um produto gênico:

[...] Within the DNA sequence of any organism’s genome is encoded information specifying each of the gene products that the organism can make. These DNA sequences also contain information specifying when, where, and how much of the product is made. However, this information is static, embedded in the sequence of the DNA. To utilize the information, an intermediate molecule that is a copy of a discrete gene must be synthesized with the use of the DNA sequence as a guide.

---

<sup>55</sup> Ao leitor que consulta parcialmente a presente tese, recomendamos a leitura das considerações realizadas no início da seção 3.2, página 214

This molecule is RNA and the process of its synthesis from DNA is called transcription.

The transfer of information from gene to gene product takes place in several steps. The first step, which is the focus of this chapter, is to copy (transcribe) the information into a strand of RNA with the use of DNA as an alignment guide, or template. In prokaryotes, the information in RNA is almost immediately converted into an amino acid chain (polypeptide) by a process called translation. [...]. In eukaryotes, transcription and translation are spatially separated: transcription takes place in the nucleus and translation in the cytoplasm. However, before RNAs are ready to be transported into the cytoplasm for translation, they undergo extensive processing, including the removal of introns and the addition of a special 5' cap and a 3' tail of adenine nucleotides. A fully processed RNA is called messenger RNA (mRNA) (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 296).

Os autores não definem explicitamente o significado do que denominam informação. Entretanto, a partir desse trecho e no conjunto de textos da obra, pode-se interpretar que a informação referida é a correspondência entre as sequências de nucleotídeos presentes nas moléculas de DNA e RNA e a inserção de aminoácidos na constituição de um polipeptídeo.

O LDA aproxima-se da referência por utilizar a mesma metáfora, dizendo que o processo de produção de proteínas envolve a tradução da *informação* do gene e, mais especificamente, da *informação* presente no mRNA:

[...] Como essa sequência é determinada pelas bases do DNA (gene) que serviu de molde ao RNAm, a síntese de proteína representa, portanto, a "tradução" da informação do gene, sendo, por isso, chamada de tradução gênica. (LDA, v. 1, p. 253).

[...] As moléculas de RNA mensageiro (RNAm) sintetizadas a partir dos genes têm a informação para a síntese de proteínas, codificada na forma de trincas de bases nitrogenadas. Cada trinca é chamada códon e define cada aminoácido constituinte da proteína (LDA, v. 1, p. 252).

Verifica-se, a partir desses trechos, que os autores utilizam a metáfora com significado similar ao da referência, pois mencionam que a *informação* presente na molécula de mRNA é codificada por trincas de bases nitrogenadas que correspondem aos aminoácidos da proteína sintetizada.

O LDB também se aproxima da referência ao utilizar a mesma metáfora com o mesmo sentido, apesar de não deixar explícito o seu significado, assim como faz o LDA:

[...] Os segmentos do DNA formam os genes, e a maioria dos genes exercem o seu efeito no fenótipo (características de um organismo) através de proteínas. Portanto, quem expressa o caráter não é diretamente o gene, mas sim as proteínas sintetizadas a partir da informação contida no DNA. [...] (LDB, p. 72).

A aproximação ocorre dessa mesma forma nos LDJ e LDL (ANEXO H).

O LDB ainda utiliza o termo *instrução* como um sinônimo para informação, dizendo que o DNA possui instruções para a produção de proteínas. Nesse momento, continua próximo da referência por ainda estar dentro da “metáfora da informação”:

O DNA contém as instruções para a produção de proteínas na célula. Todavia, não é o DNA que age diretamente na síntese da proteína mas o RNAm, que é formado a partir do DNA. Dessa forma, fica bem clara a relação entre DNA, RNA e proteína (LDB, p. 72).

A mesma aproximação pode ser encontrada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

Na metáfora abordada pela referência, a “informação” é tratada como uma “informação escrita”, uma “mensagem” que possui “palavras”, “letras” e “pontuações”.

A referência, ao falar sobre como o DNA determina a sequência de aminoácidos de uma proteína, faz uma analogia entre os nucleotídeos dessa e as letras de um código, as quais formariam palavras, ou seja, o códon:

If genes are segments of DNA and if a strand of DNA is just a string of nucleotides, then the sequence of nucleotides must somehow dictate the sequence of amino acids in proteins. How does the DNA sequence dictate the protein sequence? The analogy to a code springs to mind at once. Simple logic tells us that, if the nucleotides are the "letters" in a code, then a combination of letters can form "words" representing different amino acids. First, we must ask how the code is read. Is it overlapping or nonoverlapping? Then, we must ask how many letters in the mRNA make up a word, or codon, and which codon or codons represent each amino acid. The cracking of the genetic code is the story told in this section (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 325).

Desse modo, O LDL se aproxima da referência ao também comparar os nucleotídeos do RNA com letras e os códonos, com palavras:

[...] As you know, RNA contains four different bases: A, U, C, and G. In effect, the code is written in a language that has only four "letters. How can a code with just four letters carry instructions for 20 different amino acids? The genetic code is read three letters at a time, so that each "word" of the coded message is three bases long. Each three-letter "word" in mRNA is known as a codon [...] (LDL, p. 302).

A referência também utiliza a metáfora da “cópia de palavras escritas” para se referir ao processo em que uma molécula de DNA serve como molde para a síntese de uma molécula de RNA; daí se justifica chamar esse processo de transcrição. É possível verificar isso no trecho novamente citado: “[...] Hence, RNA is produced by a process that copies the

nucleotide sequence of DNA. Because this process is reminiscent of transcribing (copying) written words, the synthesis of RNA is called transcription. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 300).

Entretanto, outra bibliografia de referência, Alberts *et al.* (2008), utilizando a mesma metáfora, deixam claro que, apesar de a informação no mRNA estar presente no DNA, o alfabeto utilizado é ligeiramente diferente:

In RNA, the backbone is formed of a slightly different sugar from that of DNA - ribose instead of deoxyribose - and one of the four bases is slightly different - uracil (U) in place of thymine (T); but the other three bases - A, C, and G - are the same, and all four bases pair with their complementary counterparts in DNA - the A, U, C, and G of RNA with the T, A, G, and C of DNA. During transcription, RNA monomers are lined up and selected for polymerization on a template strand of DNA, just as DNA monomers are selected during replication. The outcome is a polymer molecule whose sequence of nucleotides faithfully represents a part of the cell's genetic information, even though written in a slightly different alphabet, consisting of RNA monomers instead of DNA monomers (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 4).

O LDB também usa a metáfora da *cópia*: “Os RNAs mensageiros são as cópias dos genes (segmentos de DNA) que serão traduzidos em proteínas” (LDB, p. 70). Os autores explicam, em outros trechos da obra, as diferenças entre o DNA e o RNA (p. 67-68). Além disso, ao falar sobre o processo de transcrição, explicam que o mRNA é constituído por ribonucleotídeos:

Inicialmente, a RNA polimerase rompe as pontes de hidrogênio de uma determinada seqüência da molécula de DNA que vai ser transcrita (gene ativo), ao mesmo tempo em que vai inserindo ribonucleotídeos (nucleotídeos de RNA que contêm ribose em vez de desoxirribose como no DNA) específicos segundo uma das fitas molde do DNA (LDB, p. 71).

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

A referência ainda faz uma analogia dos códons de fim com as pontuações de uma *mensagem*: “You may have noticed in Figure 9-6 that some codons do not specify an amino acid at all. These codons are stop, or termination, codons. They can be regarded as being similar to periods or commas punctuating the message encoded in the DNA” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 329).

O LDJ também se aproxima da referência ao dizer que o RNA carrega a *mensagem* para a síntese de proteína: “[...] The first type of RNA is **messenger RNA (mRNA)**, a single-

stranded RNA molecule that carries the instructions from a gene to make a protein. In eukaryotic cells, mRNA carries the genetic “message” from DNA in nucleus to the ribosomes in the cytosol. [...]” (LDJ, p. 205).

A metáfora da *mensagem* também está presente nos LDA e LDL (ANEXO H).

Em suma, na metáfora usada pela referência, os nucleotídeos são letras que formam palavras, as quais são os códons que formam o código para a síntese de proteínas. Esse código expressa uma mensagem, ou seja, uma traz uma informação. Essas mensagens são copiadas, transcritas e posteriormente traduzidas para produzir uma proteína, processo que termina quando se chega ao ponto final da mensagem, o códon de parada. Trata-se, portanto de uma metáfora associada à *linguagem*.

Desse modo, o LDL se aproxima da referência ao dizer que as instruções do mRNA estão expressas através da *linguagem* do código genético: “The ‘language’ of mRNA instructions is called the genetic code” (LDL, p. 302).

Aproximação similar foi encontrada no LDK, que diz que o DNA codifica para a produção de proteínas, aproximando a metáfora da linguagem computacional:

#### **DNA codes for RNA which guides protein synthesis**

**Real-World Reading Link** Computer programmers write their programs in a particular language, or code. The computer is designed to read the code and perform a function. Like the programming code, DNA contains a code that signals the cell to perform a function (LDK, p. 336).

3.2.4.2 A informação para a síntese de proteínas presente no RNA encontra-se disposta em trincas de nucleotídeos denominadas códons

Como mencionado anteriormente (seção 3.2.4.1), ao falar sobre como o DNA determina a sequência de aminoácidos de uma proteína, a referência faz uma analogia entre os nucleotídeos dessa e as letras de um código, as quais formariam palavras, ou seja, o códon. Posteriormente, apresenta, entre as páginas 326 e 328, evidências experimentais de que o códon é composto por três letras, ou nucleotídeos. Porém, de forma mais sintética, apresenta uma definição em seu glossário para o termo *códon* que sistematiza essa informação: “**codon** A section of RNA (three nucleotide pairs in length) that encodes a single amino acid”

(GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 782). Portanto, de acordo com a referência, um códon é um conjunto de três nucleotídeos presente no mRNA.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que o mRNA possui trincas de bases nitrogenadas, denominadas de códons: “[...] As moléculas de RNA mensageiro (RNAm) sintetizadas a partir dos genes têm a informação para a síntese de proteínas, codificada na forma de trincas de bases nitrogenadas. Cada trinca é chamada códon e define cada aminoácido constituinte da proteína” (LDA, v. 1, p. 251).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.3 Ao total, são formados 64 códons

De acordo com a referência, sendo os códons compostos por trincas de nucleotídeos, é possível haver 64 códons:

If the words are three letters long, then  $4 \times 4 \times 4 = 64$  words are possible; for example, AUU, GCG, or UGC. This vocabulary provides more than enough words to describe the amino acids. We can conclude that the code word must consist of at least three nucleotides. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 326).

No quadro apresentado na Figura 5, a referência apresenta os 64 códons possíveis.

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar a existência de 64 códons distintos: “As quatro bases nitrogenadas presentes no RNAm (A, U, C e G), reunidas três a três, formam 64 códons distintos. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

The genetic code							
		Second letter					
		U	C	A	G		
First letter	U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } Ser UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA Stop UAG Stop	UGU } Cys UGC } UGA Stop UGG Trp	U C A G	
	C	CUU } CUC } Leu CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGU } CGC } Arg CGA } CGG }	U C A G	
	A	AUU } AUC } Ile AUA } AUG Met	ACU } ACC } Thr ACA } ACG }	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G	
	G	GUU } GUC } Val GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } GGC } Gly GGA } GGG }	U C A G	
		Third letter					

**FIGURE 9-6** The genetic code designates the amino acids specified by each codon.

Figura 5 - Quadro contendo o código genético apresentado pela referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 329), onde é possível se verificar a existência de 64 códons

#### 3.2.4.4 Três códons sinalizam especificamente o final da tradução

Como é possível verificar na Figura 5, segundo a referência, três dos códons são sinais de fim. Pode-se também notar, na citação mencionada na seção 3.2.4.1, que Griffiths *et al.* (2008b) fazem uma analogia desses códons com as pontuações de uma mensagem.

Como mencionado pela referência, esses códons sinalizam o final da tradução. Esse conhecimento encontra-se na citação seguir, em que os autores se referem aos trabalhos realizados por Brenner, em 1965, com mutantes do fago T4:

He therefore postulated that UAG is a stop (termination) codon—a signal to the translation mechanism that the protein is now complete. UAG was the first stop codon deciphered; [...]. Two other stop codons are UGA and UAA. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 329-330).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que três dos 64 códons são códons de fim, os quais indicam o final da informação genética na molécula de RNA mensageiro: “[...] Dos

64 códons 61 correspondem aos vinte tipos de aminoácido que entram na constituição das proteínas. Os três códons restantes não correspondem a nenhum aminoácido e funcionam como pontuação, indicando o final da informação genética na molécula do RNAm. (Fig. 11.9)” (LDA, v. 1, p. 152).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

Conforme é possível verificar na citação seguinte, o LDA também se aproxima da referência ao mencionar que essas três trincas são UAA, UAG e UGA: “[...] Há, também, três trincas "sem sentido" (UAA, UAG e UGA), que sinalizam o final da mensagem” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi encontrada no LDJ (ANEXO H).

Verifica-se ainda, no trecho acima citado, que o LDA também se aproxima da referência ao utilizar a analogia das pontuações para explicar a função de tais códons de término. Como visto na seção 3.2.4.1, a referência também utiliza a metáfora da “informação escrita” para explicar a síntese de proteínas.

O LDL apresenta a mesma aproximação (ANEXO H).

#### 3.2.4.5 Os demais 61 códons correspondem a aminoácidos

Conforme a Figura 5, segundo a referência, os demais 61 códons estão correlacionados a aminoácidos.

Verifica-se, na citação apresentada na seção anterior (3.2.4.4), que o LDA se aproxima da referência ao dizer que os demais 61 códons correspondem a aminoácidos.

#### 3.2.4.6 Cada códon define cada aminoácido que é inserido na proteína sintetizada

Conforme é possível verificar em citações mencionadas na seção 3.2.4.2, a referência afirma que os nucleotídeos em forma de códons determinam a sequência de aminoácidos da

proteína formada, sendo que, conforme verificado também nas seções 3.2.4.3 e 3.2.4.5, cada códon pode corresponder a um aminoácido específico a ser inserido na proteína.

Conforme citação apresentada na seção 3.2.4.2, o LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que cada códon pode ser responsável pela inserção de um aminoácido específico na proteína formada.

A mesma aproximação foi encontrada no LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.7 Um códon difere-se do outro por apenas um nucleotídeo

Como é possível verificar na Figura 5, pela tabela de códon apresentada pela referência, um códon pode se distinguir de outros por apenas um nucleotídeo.

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que dois códon podem se distinguir um do outro por apenas um nucleotídeo: “[...] These codons often differ from one another by only one nucleotide [...]” (LDJ, p. 207).

#### 3.2.4.8 Cada códon corresponde a apenas *um* aminoácido

Conforme se pode verificar na Figura 5, cada códon da tabela apresentada pela referência corresponde a apenas um aminoácido.

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que não existe códon que codifica para mais de um aminoácido: “[...] No codon encodes more than one amino acid. [...]” (LDJ, p. 207).

A mesma aproximação pode ser encontrada no LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.9 A sequência do mRNA determina a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica

A citação anterior, mencionada na seção 3.2.4.2, também diz que, de acordo com a referência, a sequência de códons do RNA mensageiro determina a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica sintetizada.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que a sequência de aminoácidos da proteína produzida é determinada pela sequência dos códons do mRNA: “O processo de síntese das proteínas é rigorosamente ordenado, o que garante que os tipos e a seqüência de aminoácidos de uma cadeia polipeptídica sejam determinados, com precisão, pela seqüência de códons do RNAm. [...]” (LDA, v. 1, p. 256).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.10 O código genético é o conjunto da correspondência entre os códons de mRNA e os aminoácidos

De acordo com a referência correspondência, o código genético consiste no conjunto das *correspondências* entre os códons e os aminoácidos das proteínas: “**genetic code** A set of correspondences between nucleotide-pair triplets in DNA and amino acids in protein” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 787).

Alberts *et al.* (2008) definem o código genético como regras que se aplicam na tradução da sequência de nucleotídeos de um mRNA em uma sequência de aminoácidos de uma proteína: “The nucleotide sequence of a gene, through the intermediary of mRNA, is translated into the amino acid sequence of a protein by rules that are known as the **genetic code**” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 367). Conhecimento similar é encontrado em Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) (ANEXO H).

O LDA aproxima-se da referência ao definir o código genético como a correspondência entre os códons do mRNA e os aminoácidos das proteínas: “A correspondência entre os códons do RNAm e os aminoácidos por eles determinados constitui o código genético [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

O LDJ apresenta a mesma aproximação (ANEXO H).

O LDB distancia-se da referência ao dizer que a sequência de nucleotídeos na molécula de DNA determina o código genético: “O código genético é determinado pela

seqüência de nucleotídeos presentes na molécula de DNA. [...]” (LDB, p. 72). Baseando-se nas informações apresentadas pela referência, pode-se dizer que, independentemente da seqüência de nucleotídeos que há em uma molécula de DNA, o código genético será o mesmo, pois o que o determina é a *correspondência* entre a seqüência de bases do DNA e os aminoácidos. Desse modo, organismos com seqüências diferentes teriam a mesma regra aplicada no seu processo de tradução, ou seja, o mesmo código genético, pois o que determinaria esse código não seria a seqüência em si, e sim a correspondência entre esta e os aminoácidos.

3.2.4.11 O código genético é comum a quase todos os organismos do planeta, com poucas exceções (mitocôndrias e genes nucleares)

Segundo a referência, com poucas exceções, o código genético é o mesmo para todos os organismos do planeta: “[...] Virtually all organisms on Earth use this same genetic code. (There are just a few exceptions in which a small number of the codons have different meanings - for example, in mitochondrial genomes.)” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 329).

Krebs, Goldstein e Stephen (2008) ainda mencionam que essas alterações ocorrem em poucas espécies e que, em alguns casos, podem ocorrer no genoma nuclear.

- Changes in the universal genetic code have occurred in some species.
- These changes are more common in mitochondrial genomes, where a phylogenetic tree can be constructed for the changes
- In nuclear genomes, the changes usually affect only termination codons (KREBS; GOLDSTEIN; STEPHEN, 2008, p. 713).

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que todos os seres vivos do planeta, com poucas exceções, possuem o mesmo código genético. Diz ainda que pequenas exceções podem ser encontradas em poucas espécies, no DNA micondrial ou nuclear: “O código genético é praticamente o mesmo em todos os seres vivos do planeta e, por isso se diz que ele é universal. As exceções conhecidas restringem-se ao significado de alguns códons em mitocôndrias e em genes nucleares de umas poucas espécies” (LDA, v. 1, p. 252).

O LDJ também aproxima-se da referência ao mencionar a quase universalidade do código genético (ANEXO H).

#### 3.2.4.12 Há aminoácidos que possuem mais de um códon correspondente

De acordo com a referência, cada aminoácido pode ser correspondido por mais de um códon, sendo, portanto, o código genético degenerado: “The code is degenerate in that some amino acids are specified by more than one codon” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 328). Apesar de a referência utilizar o termo *some*, que significa *alguns* em português, é possível verificar na Figura 5 que a maioria dos aminoácidos são especificados por mais de um códon.

O LDL aproxima-se da referência ao dizer que há aminoácidos que são especificados por mais de um códon: “[...] As you can see, some amino acids can be specified by more than one codon” (LDL, p. 303).

Já o LDA aproxima-se da referência ao dizer que a maioria dos aminoácidos são codificados por mais de um códon: “O código genético é considerado “degenerado”; isso porque, para quase todos os aminoácidos, há mais de uma trinca que os codifica” (LDA, v. 1, p. 252).

Já o LDJ, como se verifica na Figura 5, aproxima-se da referência ao dizer que um mesmo aminoácido pode ser codificado por dois, três ou mais códons: “Some amino acids are encoded by two, three, or more different codons [...]” (LDJ, p. 207).

Do mesmo modo, baseando-se nas informações da mesma tabela, pode-se dizer que o LDL apresenta a mesma aproximação ao dizer que há aminoácidos que são especificados por seis códons: “[...] As you can see, some amino acids can be specified by more than one codon. For example, six different codons specify the amino acid leucine, and six others specify arginine” (LDL, p. 303).

#### 3.2.4.13 Há seis diferentes códons para leucina e seis para arginina

É possível verificar na Figura 5 que, de acordo com a referência, para o aminoácido leucina existem seis diferentes códons. O mesmo ocorre com arginina.

Conforme citação anterior (seção 3.2.4.12), o LDL aproxima-se da referência ao também mencionar que a leucina pode ser especificada por seis diferentes códons e que o mesmo ocorre com a arginina.

#### 3.2.4.14 Apenas dois aminoácidos possuem um único códon para codificação

Conforme é possível verificar na Figura 5, de acordo com a referência, há dois aminoácidos que possuem, cada qual, apenas um códon para sua codificação.

O LDA aproxima-se da referência ao também se referir à existência de dois aminoácidos que possuem apenas uma trinca para codificá-los: “[...] Apenas dois aminoácidos são codificados por uma única trinca. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

#### 3.2.4.15 O códon AUG corresponde ao aminoácido metionina (phe)

Conforme é possível verificar na Figura 5, de acordo com a referência, o códon AUG corresponde ao aminoácido metionina.

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a trinca AUG codifica para metionina: “Por exemplo, o RNAt com anticódon UAC encaixa-se no RNAm apenas onde houver o códon AUG. Como esse RNAt transporta o aminoácido metionina, é ele que irá se encaixar nos locais da cadeia polipeptídica correspondentes aos códons AUG do RNAm. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.16 O códon UUU corresponde ao aminoácido fenilalanina (Fen)

Conforme Figura 5, de acordo com a referência, o códon UUU corresponde ao aminoácido fenilalanina.

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a trinca UUU codifica o aminoácido fenilalanina: “[...] Por exemplo, se o códon do RNAm no sítio A for UUU, o RNAt que nele se aloja terá anti-códon AAA e, portanto, transportará o aminoácido fenilalanina (phe)” (LDA, v. 1, p. 254).

A mesma aproximação foi encontrada no LDK (ANEXO H).

#### 3.2.4.17 O códon UUC corresponde ao aminoácido fenilalanina (Fen)

Conforme é possível verificar na Figura 5, de acordo com a referência, o códon UUC também corresponde ao aminoácido fenilalanina.

O LDL aproxima-se da referência ao dizer que a trinca UUC codifica o aminoácido fenilalanina: “If that next codon is UUC, a tRNA molecule with an AAG anticodon would fit against the mRNA molecule held in the ribosome. That second tRNA molecule would bring the amino acid phenylalanine into the ribosome” (LDL, p. 305).

#### 3.2.4.18 O códon GCU corresponde ao aminoácido alanina (Ala)

Conforme é possível verificar na Figura 5, de acordo com a referência, o códon GCU corresponde ao aminoácido alanina.

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que a trinca GCU codifica o aminoácido alanina: “[...] For example, the codon GCU specifies the amino acid *alanine* in the genetic code. [...]” (LDJ, p. 207).

#### 3.2.4.19 O códon UCG corresponde ao aminoácido serina (Ser)

Conforme é possível verificar na Figura 5, de acordo com a referência, o códon UCG corresponde ao aminoácido serina.

O LDL aproxima-se da referência ao dizer que a trinca UCG codifica o aminoácido serina:

The codons represent the different amino acids:  
UCG – CAC –GGU  
Serine – Histidine – Glycine (LDL, p. 302)

#### 3.2.4.20 O códon CAC corresponde ao aminoácido histidina (His)

Conforme é possível verificar na Figura 5, de acordo com a referência, o códon CAC corresponde ao aminoácido histidina.

Conforme é possível verificar na citação anteriormente mencionada (seção 3.2.4.19), o LDL aproxima-se da referência ao dizer que a trinca CAC codifica o aminoácido histidina.

#### 3.2.4.21 O códon GGU corresponde ao aminoácido glicina (Gli)

Conforme é possível verificar na Figura 5, de acordo com a referencia o códon GGU corresponde ao aminoácido glicina.

Conforme é possível verificar na citação anteriormente mencionada (seção 3.2.4.19), o LDL aproxima-se da referência ao dizer que a trinca GGU codifica o aminoácido glicina.

#### 3.2.4.22 De acordo com a hipótese de Beadle e Tatum, um gene controla uma enzima

Ao descrever os experimentos de Beadle e Tatum, a referência explica seus resultados dizendo que é possível verificar que a mutação em um determinado gene interfere na produção de uma enzima. Essa observação levou então os cientistas a desenvolverem a hipótese *um-gene-uma-enzima*:

[...]Thus mutation at a particular gene is assumed to interfere with the production of a single enzyme. The defective enzyme creates a block in some biosynthetic pathway. The block can be circumvented by supplying to the cells any compound that normally comes after the block in the pathway. [...]  
This brilliant model, which was initially known as the *one-gene-one-ene-enzyme hypothesis*, was the source of the first exciting insight into the functions of genes: genes somehow were responsible for the function of enzymes, and each gene apparently controlled one specific enzyme in a series of interconnected steps in a biochemical pathway. Other researchers obtained similar results for other biosynthetic pathways, and the hypothesis soon achieved general acceptance. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 232).

Os autores também afirmam que outros conhecimentos levaram a modificação da hipótese para *um-gene-um-polipeptídeo*:

[...] All proteins, whether or not they are enzymes, also were found to be encoded by genes, and so the phrase was refined to become **one-gene-one-polypeptide hypothesis** (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 232).

A versão em português é, porém, marcada com um asterisco:

[...] Todas as proteínas, sejam enzimas ou não, também são codificadas por genes, e, assim a frase foi redefinida para tornar-se **hipótese um gene - um polipeptídeo**.\* (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 197).

Esse asterisco remete a uma nota de rodapé do tradutor, a qual diz que essa hipótese é atualmente modificada, pois um gene pode produzir mais de um tipo de proteína: “\* NRT.: Atualmente modificada para um gene (ou cístron) um ou mais tipos de polipeptídeos” (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 197).

Alberts *et al.* (2008) também dizem que um gene pode codificar uma proteína ou um grupo de variantes proteicas:

[...] A complication is that RNA molecules transcribed from the same DNA segment can often be processed in more than one way, so as to give rise to a set of

alternative versions of a protein, especially in more complex cells such as those of plants and animals. A gene therefore is defined, more generally, as the segment of DNA sequence corresponding to a single protein or set of alternative protein variants (or to a single catalytic or structural RNA molecule for those genes that produce RNA but not protein) (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 7).

O mesmo conhecimento é apresentado por Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) (ANEXO H).

O LDK aproxima-se da referência ao dizer que os experimentos de Beadle e Tatum levaram à hipótese *um-gene-uma-enzima*:

[...] In the 1940s. George Beadle and Edward Tatum provided evidence that a gene can code for an enzyme. [...]

[...] In Beadle and Tatum's experiment, the spores were exposed to X rays and grown on a complete medium. To test for a mutated spore, the scientists grew spores on a minimal medium. When a spore was unable to grow on the minimal medium the mutant was tested to see what amino acid it lacked. When the mold-spore type grew on a minimal medium with a supplement such as arginine, a Beadle and Tatum hypothesized that the mutant was missing the enzyme needed to synthesize arginine. Beadle and Tatum came up with what is known as the "one gene – one enzyme" hypothesis. Today because we know that polypeptides make up enzymes, their hypothesis has been modified slightly to refer to the fact that one gene codes for one polypeptide (LDK, p. 341).

Ainda é possível verificar, na mesma citação, que o LDK se aproxima da referência ao dizer que, posteriormente, essa hipótese de tais cientistas foi modificada para *um-gene-um-polipeptídio*; entretanto, apresenta-a como a hipótese atual, distanciando-se, nesse caso, da referência, que menciona que atualmente essa hipótese foi modificada para *um gene ou cístron-um ou mais tipos de polipeptídios*.

As mesmas aproximações e distanciamentos foram evidenciados no LDC (ANEXO H).

Flodin (2009) ainda considera inconsistente a hipótese *um gene-um produto* não apenas porque um gene pode dar origem a vários produtos, mas também porque vários genes pode dar origem a um único produto.

Pitombo, Albuquerque e Almeida (2007) afirmam ainda que a questão não se resolve simplesmente ao adotar a hipótese *um gene ou cístron – um ou mais tipos de polipeptídeos*. A geração desses diferentes polipeptídios pode ocorrer pelo processo de *splicing*, em que, conforme já comentado, um RNA produzido pode ter regiões denominadas íntrons removidas e as regiões que permanecem, denominadas éxons, conectadas, formando uma molécula de mRNA com a sequência de nucleotídeos diferente da molécula original. Como essas edições

podem ser alternativas, o resultado do processo de *splicing* não é sempre o mesmo. Desse modo, um mesmo gene poderia dar origem a diferentes polipeptídios, dependendo de como o processo de *splicing* ocorra. Entretanto, esse processo envolve um processo regulatório dinâmico, o qual depende da célula como um todo. Além disso, como uma mesma sequência de DNA pode originar diferentes polipeptídios, é difícil definir qual segmento realmente corresponderia a um gene.

3.2.4.23 A expressão gênica envolve a produção de uma molécula de RNA, a qual em seguida pode ser traduzida em um polipeptídio

De acordo com Alberts *et al.* (2008), a expressão gênica corresponde à síntese de RNA ou proteína: “**gene expression** Production of an observable molecular product (RNA or protein) by a gene” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. G14).

Conforme citação apresentada na seção 3.2.4.1, para que a informação do DNA seja utilizada para a produção de uma proteína, é necessário primeiramente que seja copiada em molécula de RNA.

O LDK aproxima-se da referência ao também mencionar que a expressão dos genes pode gerar a produção de proteínas: “Geneticists now accept that the basic mechanism of reading and expressing genes is from DNA to RNA to protein” (LDK, p. 336). Entretanto, apesar de os autores se referirem às diferentes moléculas de RNA existentes, não deixam claro que a expressão gênica pode ser simplesmente a produção de tais RNAs funcionais, sem necessariamente terminar na produção de uma proteína, evidenciando-se nesse caso um distanciamento com relação à referência.

A possibilidade de um gene produzir moléculas de RNA funcionais que não dão origem a polipeptídios é também mencionada por Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008):

A gene is a sequence of DNA that directly produces a single strand of another nucleic acid, RNA, [...]. In many cases, the RNA is in turn used to direct production of a polypeptide. In other cases, such as rRNA and tRNA genes, the RNA transcribed from the gene is the functional end product. Thus a gene is a sequence of DNA that codes for an RNA, and in protein-coding (or **structural**) genes, the RNA in turn codes for a polypeptide (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 4).

A mesma aproximação e distanciamento foram evidenciados no LDL (ver ANEXO H).

Já o LDA aproxima-se da referência ao deixar mais claro que os genes, ou o DNA, podem dar origem a diferentes tipos de RNAs, e não apenas ao mRNA que dará origem a uma proteína:

Cada gene determina a produção de uma molécula específica de RNA, "transcrevendo" seu código molecular para ela. A maioria das moléculas de RNA, por sua vez, orienta a produção de proteínas, traduzindo a informação codificada na molécula de RNA na seqüência de aminoácidos característica de cada molécula protéica (LDA, v. 1, p. 249)

As moléculas de RNA transcritas a partir do DNA podem ser de três tipos principais: RNA mensageiro (RNAm), RNA ribossômico (RNAr) e RNA transportador (RNAt). (LDA, v. 1, p. 251)

A mesma aproximação foi encontrada nos LDB, LDC e LDJ (ANEXO H). Porém, é possível verificar também que o LDK se aproxima da referência ao dizer que a produção de proteína por meio da expressão gênica é realizada tendo a síntese de um RNA como intermediário.

Os LDA, LDB, LDC, LDJ e LDL também se aproximam da referência ao dizer que a mensagem do DNA é traduzida em proteína, tendo o RNA como intermediário (conforme citações nesta seção e no ANEXO H).

#### 3.2.4.24 O processo de síntese de RNA é denominado transcrição

Conforme citação mencionada na seção 3.2.4.1, segundo Griffiths *et al.* (2008b), o processo de síntese de RNA é denominado *transcrição*.

O LDA aproxima-se da referência por também afirmar que a denominação dada ao processo de produção de RNA é transcrição: “[...] No processo de produção do RNA, denominado **transcrição gênica**, as duas cadeias do DNA se separam e uma delas serve de molde ao RNA; [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

Pode-se evidenciar a mesma aproximação nos LDB, LDC e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.25 Durante a transcrição, o código do DNA é transferido para o mRNA

Conforme citação mencionada na seção 3.2.4.1, de acordo com a referência, no DNA está codificada a informação para a produção de uma proteína. Para que isso seja possível, é preciso que essa informação seja copiada em uma molécula de RNA por meio de um processo denominado transcrição.

O LDK aproxima-se da referência ao dizer que, durante a transcrição, o código é transferido do DNA para o mRNA: “[...] Through transcription, the DNA code is transferred to mRNA in the nucleus. [...]” (LDK, p. 337).

Essa aproximação também foi encontrada no LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.26 O RNA é produzido a partir de um molde de DNA

De acordo com a referência, o DNA serve de molde para a síntese de RNA: “[...] First, the two strands of the DNA double helix separate locally, and one of the separated strands acts as a template for RNA synthesis. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 300).

O LDB aproxima-se da referência ao dizer que o RNA é produzido por meio de um molde de DNA. Ao falar sobre o núcleo das células eucariontes, os autores afirmam: “A molécula do RNA é moldada por um processo chamado de transcrição a partir da molécula do DNA presente no núcleo da célula, mas a sua função principal na síntese de proteínas ocorre no hialoplasma” (LDB, p. 70).

Essa aproximação também foi encontrada nos LDA, LDC, LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.27 Para a transcrição, é preciso que as duas cadeias de DNA se separem

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.4.26, ao explicar como ocorre o processo de transcrição, Griffiths *et al.* (2008b) dizem que este se inicia com a separação dos filamentos da molécula de DNA.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que, para ocorrer a transcrição, é necessária a separação das duas cadeias de DNA: “[...] No processo de produção do RNA, denominado transcrição gênica, as duas cadeias do DNA se separam e uma delas serve de molde ao RNA [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

Já o LDK diz que, no processo de transcrição, o DNA é *unzipped*, ou seja, aberto como um zíper. Aqui os autores provavelmente estão utilizando a metáfora do “zíper” para mencionar que os dois filamentos do DNA são separados: “[...] The DNA is unzipped in the nucleus and **RNA polymerase**, an enzyme that regulates RNA synthesis, bind to a specific section where an mRNA will be synthesized [...]” (LDK, p. 337).

A referência também utiliza a analogia do zíper para explicar o processo de separação das cadeias do DNA, quando descreve o processo de replicação da molécula: “Imaginemos que a dupla hélice é análoga a um zíper que se abre, começando em uma ponta [...]” ou “Let’s imagine that the double helix is analogous to a zipper that unzips, starting at one end [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 276).

#### 3.2.4.28 Somente uma das cadeias da molécula de DNA é utilizada como molde para a transcrição de um gene

Segundo a referência, ao se considerar o cromossomo como um todo, as duas cadeias de DNA podem ser consideradas como molde. Entretanto, os autores afirmam que, para a cada gene transcrito, apenas uma dos filamentos é utilizado como molde: “[...] In the chromosome overall, both DNA strands are used as templates; *but, in any one gene, only one strand is used*, and, in that gene, it is always the same strand (Figure 8-3). [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 300).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que, para cada molécula sintetizada, apenas um das cadeias serve como molde: “[...] a principal diferença entre a duplicação do DNA e a síntese de RNA é que nesta última são utilizados ribonucleotídios (que contêm ribose) e

apenas uma das cadeias do DNA serve de molde para a molécula que está sendo sintetizada. [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

A mesma aproximação é encontrada no LDJ (ANEXO H).

#### 3.2.4.29 Em eucariontes, a síntese de RNA ocorre no núcleo celular

Segundo a referência, no caso dos eucariontes, a produção de RNA, em geral, ocorre no núcleo celular, onde se localiza o DNA: “In eukaryotes, RNA is synthesized in the nucleus where the DNA is located and exported out of the nucleus into the cytoplasm for translation” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 305).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a síntese de RNA ocorre no núcleo em eucariontes: “[...] Nas células eucarióticas, os três tipos de RNA são transcritos a partir do DNA cromossômico, no interior do núcleo celular. [...]” (LDA, v. 1, p. 251).

A mesma aproximação foi encontrada no LDB (ANEXO H). Da mesma forma, esse livro didático também se aproxima da referência ao falar sobre a produção de tRNA nos eucariontes: “[...] O RNAt é produzido no núcleo a partir do DNA e migra para o citoplasma [...]” (LDB, p. 71).

O LDJ também se aproxima da referência ao falar que, nos eucariontes, o núcleo é o local onde ocorre a transcrição: “Transcription takes place in the nucleus of eucaryotic cells and [...]” (LDJ, p. 206).

#### 3.2.4.30 Em procariontes, a síntese de RNA ocorre no nucleóide

De acordo com a referência, a transcrição em procariontes não ocorre em compartimentos diferentes, como nos eucariontes:

The components of the translational machinery and the process of translation are very similar in prokaryotes and eukaryotes. The major feature that distinguishes translation in prokaryotes from that in eukaryotes is the location where transcription and translation take place in the cell: the two processes take place in the same

compartment in prokaryotes, whereas they are physically separated in eukaryotes. After extensive processing, eukaryotic mRNAs are exported from the nucleus for translation on ribosomes that reside in the cytoplasm. In contrast, transcription and translation are coupled in prokaryotes: translation of an RNA begins at its 5' end while the rest of the mRNA is still being transcribed (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 321).

Alberts *et al.* (2008) explicam que as células de organismos procariontes não possuem núcleo, e sim um único compartimento formado pela membrana citoplasmática, onde se encontram o DNA e outras moléculas:

[...] Prokaryotic have no distinct nuclear compartment to house their DNA. [...].

[...] They often have a tough protective coat, called a *cell wall*, beneath which a plasma membrane encloses a single cytoplasmic compartment containing DNA, RNA, proteins and the many small molecules need for life. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 14).

De acordo Lodish *et al.* (2007), o DNA bacterial forma o nucleóide, o qual, particularmente, não é envolvido por uma membrana: “[...] The nucleoid, consisting of the bacterial DNA, is not enclosed within a membrane [...]” (Lodish *et al.* 2007, p. 3).

Desse modo, o LDA aproxima-se da referência ao dizer que a síntese de RNA em procariontes ocorre no nucleóide: “[...] Nos organismos procarióticos, que não apresentam núcleo, a síntese desses tipos de RNA ocorre no nucleóide, a região da célula onde se localiza o cromossomo desses organismos. [...]” (LDA, v. 1, p. 251).

De forma menos específica, o LDJ também se aproxima da referência ao dizer que esse processo ocorre no citoplasma: “Transcription takes place in the nucleus of eucaryotic cells and in the DNA-containing region in the cytoplasm of prokaryotic cells” (LDJ, p. 206).

Entretanto, o LDK e o LDL distanciam-se da referência ao dizer simplesmente que a síntese de RNA ocorre no núcleo, sem mencionar que esse processo se dá nesse compartimento exclusivamente em eucariontes: “[...] Through transcription, the DNA code is transferred to mRNA in the nucleus. [...]” (LDK, p. 337); “Before translation occurs, messenger RNA is transcribed from DNA in the nucleus and released into the cytoplasm” (LDL, p. 304).

Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), também mencionam que, no caso das bactérias, as sínteses de RNA e de DNA ocorrem no único compartimento que tais organismos

possuem, enquanto em eucariontes a síntese de RNA ocorre no núcleo e a de DNA, no citoplasma:

A bacterium consists of only a single compartment, so transcription and translation occur in the same place, [...].

In eukaryotes transcription occurs in the nucleus, but the mRNA product must be *transported* to the cytoplasm in order to be translated. [...] (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 38).

### 3.2.4.31 A RNA polimerase é a enzima que catalisa o processo de síntese de RNA

De acordo com a referência, a RNA polimerase é a enzima que catalisa a síntese de RNA a partir do DNA: “**RNA polymerase** An enzyme that catalyzes the synthesis of an RNA strand from a DNA template. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 797).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a polimerase do DNA é a enzima responsável por catalisar a síntese de RNA: “A síntese de RNA a partir de DNA é catalisada pela polimerase do RNA. [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDB, LDJ e LDK (ANEXO H).

### 3.2.4.32 Para iniciar a transcrição, a RNA polimerase se encaixa em uma sequência específica do DNA chamada de região promotora do gene

A referência diz que, para iniciar a transcrição, tanto em procariontes como em eucariontes, a RNA polimerase liga-se a uma região específica da molécula de DNA denominada região promotora:

[...] How does RNA polymerase find the correct starting point for transcription? In prokaryotes, RNA polymerase usually binds to a specific DNA sequence called a promoter, located close to the start of the transcribed region. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 302).

[...] Similarly, in eukaryotes, the core of RNA polymerase II also cannot recognize promoter sequences on its own. However, unlike bacteria, where  $\sigma$  factor is an integral part of the polymerase holoenzyme, eukaryotes require GTFs to bind to

regions in the promoter before the binding of the core enzyme (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 306).

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que a RNA polimerase se encaixa na região promotora para iniciar a produção de RNA: “Hoje se sabe que o início de um gene é marcado por uma seqüência especial de pares de bases nitrogenadas conhecida como região promotora do gene. Essa seqüência determina o local do DNA em que se encaixa a polimerase do RNA, para iniciar a síntese de RNA” (LDA, p. 250).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

O LDK também se aproxima da referência ao mencionar que há uma região específica à qual a RNA polimerase se liga para a síntese de mRNA: [...] The DNA is unzipped in the nucleus and RNA polymerase, an enzyme that regulates RNA synthesis, bind to a specific section where an mRNA will be synthesized. [...] (LDK, p. 337).

#### 3.2.4.33 A região promotora fica no começo do gene

De acordo com Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), a região promotora do gene fica no início no gene: “[...] Transcription starts when RNA polymerase binds to a special region, called the **promoter** at the start of the gene. [...] (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK; 2008, p. 506).

Verifica-se, em citação acima mencionada, na seção 3.2.4.33, que o LDA se aproxima da referência ao mencionar que a região promotora se encontra na região inicial do gene.

#### 3.2.4.34 Posteriormente, a RNA polimerase começa a separar as cadeias de DNA

De acordo com Alberts *et al.* (2008), após a RNA polimerase encontrar a região promotora do DNA, ela inicia a separação das cadeias da molécula: “After the RNA polymerase holoenzyme binds tightly to the promoter DNA in this way, it opens up the

double helix to expose a short stretch of nucleotides on each strand [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 337).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar que os filamentos de DNA são separados pela RNA polimerase: “[...] Essa enzima une-se a uma das extremidades do gene e começa a separar as cadeias do DNA, orientando o emparelhamento de ribonucleotídios livres a uma das cadeias. [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

A mesma aproximação pode ser encontrada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.35 A RNA polimerase percorre uma das fitas de DNA na direção 3’ para 5’

De acordo com a referência, durante a transcrição, a RNA polimerase percorre o DNA do sentido 3’ para o sentido 5’: “[...] The RNA polymerase migrates to the left, reading the template strand in a 3’-to-5’ direction and synthesizing RNA in a 5’-to-3’ direction. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 300).

O LDK aproxima-se da referência ao dizer que essa enzima desloca-se ao longo do DNA do sentido 3’ para o 5’: “As the DNA strand unwinds, the RNA polymerase initiates mRNA synthesis and moves along one of the DNA strands in the 3’ to 5’ direction. [...]” (LDK, p. 337).

#### 3.2.4.36 A molécula de mRNA é transcrita no sentido 5’ para o 3’

De acordo com a referência, o RNA é produzido no sentido 5’ para o 3’, sendo que os nucleotídeos são sempre inseridos na ponta 3’: “[...] During synthesis, RNA growth is always in the 5’-to-3’ direction; in other words, nucleotides are always added at a 3’ growing tip [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 301).

O LDK aproxima-se da referência ao também dizer que os nucleotídeos são sempre acrescentados na ponta 3’ e que, portanto, o mRNA alonga-se do sentido 5’ para o 3’: “[...]”

The mRNA transcript is manufactured in a 5' to 3' direction, adding each new RNA nucleotide to the 3' end. [...]” (LDK, p. 337).

#### 3.2.4.37 A polimerase pareia os ribonucleotídeos livres a uma das cadeias do DNA

De acordo com a referência, a RNA polimerase pareia ribonucleotídeos com as bases presentes no filamento-molde. Esse conhecimento pode ser evidenciado no seguinte trecho, apresentado pelos autores após mencionar a separação das cadeias de DNA:

[...] Next, ribonucleotides that have been chemically synthesized elsewhere in the cell form stable pairs with their complementary bases in the template. [...] Each ribonucleotide is positioned opposite its complementary base by the enzyme **RNA polymerase**. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 300).

O LDA se aproxima da referência ao também dizer que a RNA polimerase é responsável pelo pareamento dos ribonucleotídeos a um dos filamentos da molécula de DNA: “[...] Essa enzima une-se a uma das extremidades do gene e começa a separar as cadeias do DNA, orientando o emparelhamento de ribonucleotídios livres a uma das cadeias. [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDB e LDJ (ANEXO H).

#### 3.2.4.38 A molécula de RNA produzida possui a sequência complementar à cadeia-molde da molécula de DNA de origem

Segundo a referência, a sequência de nucleotídeos da molécula de RNA sintetizada é complementar à do segmento de DNA que lhe originou:

The first step in the transfer of information from gene to protein is to produce an RNA strand whose base sequence matches the base sequence of a DNA segment, sometimes followed by modification of that RNA to prepare it for its specific cellular roles. Hence, RNA is produced by a process that copies the nucleotide sequence of DNA. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b p. 300).

O LDB aproxima-se da referência ao dizer que a molécula de RNA sintetizada possui uma sequência de bases complementar ao filamento-molde de DNA utilizado para sua produção: “Na transcrição, a posição dos nucleotídeos de RNA é determinada, portanto, pela seqüência de nucleotídeos da fita molde do DNA, fazendo corresponder rigorosamente cada um dos nucleotídeos do RNA a um nucleotídeo do DNA molde” (LDB, p 71).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDC, LDJ e LDK (ANEXO H).

3.2.4.39 São emparelhamentos possíveis entre os ribonucleotídeos e a cadeia-molde do DNA:  
 $U \leftrightarrow A$ ;  $A \leftrightarrow T$ ;  $C \leftrightarrow G$ ; e  $G \leftrightarrow C$

De acordo com a referência, o ribonucleotídeo adenina (A) liga-se com a timina (T), guanina (G) com citosina (C), citosina (C) com guanina (G) e uracila (U) com adenina (A). Essa informação é apresentada pelos autores ao falar sobre o emparelhamento ocorrido durante a transcrição: “[...] The ribonucleotide A pairs with T in the DNA, G with C, C with G, and U with A. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 300).

O LDA se aproxima da referência ao também mencionar que, nesse emparelhamento realizado pela RNA polimerase, os mesmos emparelhamentos são possíveis:

Esse emparelhamento segue a regra: ribonucleotídios com uracila emparelham-se às adeninas da cadeia de DNA molde ( $U \leftrightarrow A$ ); ribonucleotídios com adenina emparelham-se às timinas do DNA ( $A \leftrightarrow T$ ); ribonucleotídios com citosina emparelham-se às guaninas do DNA ( $C \leftrightarrow G$ ); ribonucleotídios com guaninas emparelham-se às citosinas do DNA ( $G \leftrightarrow C$ ). [...] (LDA, v. 1, p. 250).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDB e LDJ (ANEXO H).

3.2.4.40 Na síntese de RNA, o nucleotídeo uracila é introduzido no lugar da timina

De acordo com a referência, durante a síntese de RNA, é introduzido o nucleotídeo uracila no lugar do nucleotídeo timina: “[...] Messenger RNA is composed of the molecule

ribonucleic acid (RNA), which is a sequence of nucleotides similar to DNA except that it contains ribose rather than deoxyribose in its backbone and has the nucleotide uracil (U) instead of thymine. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 6).

O LDK aproxima-se da referência ao também dizer que a molécula de RNA é constituída por uracila no lugar de timina: “[...] The strand of DNA that is read by RNA polymerase is called the template strand, and mRNA is synthesized as a complement to the DNA nucleotides. [...] Uracil is incorporated instead of thymine as the mRNA molecule is made [...]” (LDK, p. 337).

3.2.4.41 A RNA polimerase vai unindo os ribonucleotídeos uns aos outros, formando a molécula de RNA

De acordo com a referência, os ribonucleotídeos são unidos entre si pela RNA polimerase, formando a molécula de RNA: “[...] This enzyme attaches to the DNA and moves along it, linking the aligned ribonucleotides together to make an ever-growing RNA molecule [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 300-301).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a união dos ribonucleotídeos para a formação da cadeia de RNA é conduzida pela RNA polimerase: “[...] À medida que se emparelham ao DNA, os ribonucleotídios unem-se por ação da polimerase do RNA, formando a molécula de RNA. [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

3.2.4.42 Conforme o RNA é sintetizado, desprende-se da cadeia-molde de DNA

De acordo com Alberts *et al.* (2008), à medida que os nucleotídeos vão sendo incorporados na molécula de RNA sintetizada, a parte da molécula já sintetizada vai se soltando da fita-molde:

Transcription, however, differs from DNA replication in several crucial ways. Unlike a newly formed DNA strand, the RNA strand does not remain hydrogen

bonded to the DNA template strand. Instead, just behind the region where the ribonucleotides are being added, the RNA chain is displaced and the DNA helix reforms. [...] (ALBERTS, *et al.*, 2008, p. 333).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a molécula de RNA formada vai se desprendendo do molde de DNA à medida que vai sendo sintetizada: “[...] À medida que se emparelham ao DNA, os ribonucleotídios unem-se por ação da polimerase do RNA, formando a molécula de RNA. Esta, à medida que é produzida, desprende-se da cadeia-molde de DNA, que volta a se juntar à sua parceira. [...]” (LDA, v. 1, p. 250).

3.2.4.43 Conforme o filamento de DNA deixa de ser utilizado como molde, volta-se a emparelhar com seu par

De acordo com a referência, conforme a molécula de RNA vai sendo transcrita, o trecho da molécula de DNA molde que já foi utilizado na transcrição volta a se emparelhar com o outro filamento de DNA, através da ação da própria RNA polimerase: “**Elongation** As the RNA polymerase moves along the DNA, it unwinds the DNA ahead of it and rewinds the DNA that has already been transcribed. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 303).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que os filamentos do DNA são unidos novamente após da passagem da RNA polimerase: “DNA replication, transcription uses only a specific region (a gene) on one of the two DNA strands to serve as the template. As RNA polymerase moves past, the separated DNA strands rewind” (LDJ, p. 206).

O LDA também se aproxima da referência ao também dizer que, após ser utilizada na transcrição, a cadeia-molde de DNA volta a se unir com seu filamento par. Ao falar sobre a molécula de RNA, diz: “[...] Esta, à medida que é produzida, desprende-se da cadeia-molde de DNA, que volta a se juntar à sua parceira. [...] (LDA, v. 1, p. 250); “[...] Ao final do processo as duas cadeias voltam a se emparelhar, reconstituindo a dupla-hélice” (LDA, v. 1, p. 250).

3.2.4.44 A transcrição é concluída quando a RNA polimerase encontra uma sequência específica de bases nitrogenadas, denominada de sequência de término de transcrição

De acordo com a referência, o processo de síntese de RNA ocorre até o momento em que a RNA polimerase reconhece sequências específicas de nucleotídeos que servem como sinal de término: “[...] Elongation proceeds until RNA polymerase recognizes special nucleotide sequences that act as a signal for chain termination. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 304).

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que a síntese da molécula de RNA ocorre até que a RNA polimerase encontra essa sequência específica de nucleotídeos, a sequência de término de transcrição: “O processo segue até que a polimerase do RNA encontra uma sequência específica de bases nitrogenadas, a chamada sequência de término de transcrição, que marca o fim do processo. [...]” (LDA, v. 1, p. 250-251)

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

3.2.4.45 Quando a RNA polimerase atinge o sinal de término, há a liberação da molécula sintetizada e da RNA polimerase com relação ao DNA

De acordo com a referência, quando a RNA polimerase encontra-se com o sinal de término, a molécula de RNA sintetizada e a própria polimerase liberam-se do filamento-molde de DNA: “[...] The encounter with the signal nucleotides initiates the release of the nascent RNA and the enzyme from the template [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 304).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que, quando a RNA polimerase atinge o sinal de parada, há a liberação do RNA produzido e a separação da enzima do molde de DNA: “Upon reaching this “stop” signal, RNA polymerase releases both the DNA and the newly formed RNA” (LDJ, p. 206).

O LDK também se aproxima da referência ao dizer que, ao final da transcrição, a RNA polimerase e o RNA sintetizado são liberados: “[...] Eventually, the mRNA is released, and the RNA polymerase detaches from the DNA. [...]” (LDK, p. 337).

Ao mencionar a liberação da nova molécula de RNA sintetizada, o LDB apresenta a mesma aproximação (ANEXO H).

3.2.4.46 A função do mRNA é servir como uma cópia da informação para a produção de proteínas, enquanto o DNA se preserva seguro no núcleo

Alberts *et al.* (2008) mencionam a hipótese de o núcleo servir para proteger o DNA de danos. Essa afirmação é apresentada ao falar sobre as possíveis hipóteses para o surgimento das células eucarióticas: “[...] It may also require that the cell’s long, fragile DNA molecules be sequestered in a separate nuclear compartment, to protect the genome from damage by the movements of the cytoskeleton” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 27).

O LDL aproxima-se da referência pois, ao comparar o mRNA com uma cópia heliográfica (*blueprint*) da planta de uma obra, diz que a função do mRNA consiste em preservar o DNA em segurança no núcleo da célula:

You can compare the different roles played by DNA and RNA molecules in directing protein synthesis to the two types of plans used by builders. A master plan has all the information needed to construct a building. But builders never bring the valuable master plan to the building site, where it might be damaged or lost. Instead, they prepare inexpensive, disposable copies of the master plan called blueprints. The master plan is safely stored in an office, and the blueprints are taken to the job site. Similarly, the cell uses the vital DNA "masterplan" to prepare RNA "blueprints." The DNA molecule remains within the safety of the nucleus, while RNA molecules go to the protein building sites in the cytoplasm the ribosomes (LDL, p. 306).

3.2.4.47 Um mesmo gene pode dar origem a várias moléculas de RNA

De acordo com a referência, o mRNA teria três funções, sendo uma delas possibilitar maior número de cópias da informação do DNA para transcrição. Dessa forma, várias moléculas de RNA podem ser produzidas a partir de um mesmo gene. Possuindo essas a cópia da informação presente nesse gene, podemos dizer que sua produção em grande número resulta na produção de várias cópias da informação do DNA:

The mature RNA transcript is a sort of "working copy" of the DNA. The production of these transcripts serves three important functions in the cell. First, it increases the number of copies of the genetic information available to the cell at any time. Although the cell contains only one copy of each of the DNA molecules that it inherited from each of its parents, transcription can produce large numbers of the mRNA working copies of each gene. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 7).

O LDL aproxima-se da referência ao dizer que um único trecho único de DNA pode ter sua sequência copiada numerosas vezes em moléculas de RNA: “[...] The ability to copy a single DNA sequence into RNA makes it possible for a single gene to produce hundreds or even thousands of RNA molecules” (LDL, p. 300).

É possível também verificar em Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) que a quantidade de cópias mRNA por gene pode variar, podendo, assim como menciona o LDL, chegar a milhares de cópia para um mesmo gene:

Genes are expressed at widely varying levels. There may be  $10^5$  copies of mRNA for an abundant gene whose protein is the principal product of the cell,  $10^3$  copies of each mRNA for <10 moderately abundant messages, and <10 copies of each mRNA for > 10,000 scarcely expressed genes. [...] (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 136).

Desse modo, há uma aproximação do LDL com relação à referência, quando esse diz que a produção de cópias de mRNA pode variar, podendo chegar até a milhares de cópias para um mesmo gene.

3.2.4.48 O processo de transcrição pode dar origem ao RNA mensageiro, RNA ribossômico e RNA transportador (tRNA)

De acordo com a referência, dentre as moléculas de RNA produzidas pela transcrição estão o RNA mensageiro (mRNA), o RNA ribossômico (rRNA) e o RNA transportador (tRNA):

As you learned in Chapter 8, RNA transcribed from genes is classified as either messenger RNA (mRNA) or functional RNA. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 321).

[...] Two such classes of functional RNAs are found in both prokaryotes and eukaryotes: transfer RNAs and ribosomal RNAs (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 299).

O LDK aproxima-se da referência por apresentar o mRNA como um dos possíveis produtos do processo de transcrição: “**Transcription** The first step of the central dogma involves the synthesis of mRNA from DNA in a process called **transcription** (trans KRIHP shun). [...]” (LDK, p. 337).

O LDJ também se aproxima da referência por apresentar a mesma informação e por mencionar outros dois produtos do processo, o rRNA e o tRNA: “The RNA made during transcription can be one of many types including mRNA, tRNA, or rRNA” (LDJ, p. 206). O LDA também apresenta essa mesma aproximação (ANEXO H).

#### 3.2.4.49 Há segmentos do DNA não-codificantes

A referência menciona a existência de segmentos não codificantes do DNA, chamados íntrons, o quais se encontram junto com os codificantes: “[...] Another source of variation among species (and another surprise emerging from molecular research) is the prevalence and size of **introns**, the noncoding regions that interrupt coding segments of a gene. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 33).

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar a existência de segmentos não codificantes de DNA, encontrados entre os codificantes: “Os genes, segmentos de DNA que servem de molde para as moléculas de RNAm, localizam-se nos diversos cromossomos da célula, geralmente separados por longos segmentos de DNA não-codificante. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

#### 3.2.4.50 Os genes responsáveis pela síntese do RNA ribossômico encontram-se na região organizadora nucleolar

De acordo com a referência, existem regiões específicas em certos cromossomos, onde os genes codificam o RNA ribossômico. Essa região é denominada de organizador nucleolar: “Another feature of the chromosome set visible in Figure 2-6 is the **nucleolar organizer**, a unique region (usually on specific chromosome) that contains multiple repeats of genes encoding ribosomal RNA” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 35).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar que determinados cromossomos possuem regiões responsáveis pela síntese do rRNA: “Os segmentos de DNA que servem de molde para a formação das moléculas de RNA ribossômico ficam em locais específicos de certos cromossomos. Esses locais, que contêm os genes para o RNA ribossômico, são chamados de regiões organizadoras do nucléolo. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi identificada no LDB (ANEXO H).

#### 3.2.4.51 As moléculas de rRNA sintetizadas acumulam-se, formando o nucléolo

De acordo com Alberts *et al.* (2008), o nucléolo é uma região onde se encontram várias moléculas, dentre elas, os rRNAs maduros:

Unlike many of the major organelles in the cell, the nucleolus is not bound by a membrane (Figure 6-44); instead, it is a large aggregate of macromolecules, including the rRNA genes themselves, precursor rRNAs, mature rRNAs, rRNA-processing enzymes, snoRNPs, ribosomal proteins and partly assembled ribosomes (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 362).

Posteriormente, as moléculas de rRNA são transferidas para o citoplasma:

The two ribosomal subunits are thought to attain their final functional form only as each is individually transported through the nuclear pores into the cytoplasm. (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 364).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que as moléculas de rRNA sintetizadas encontram-se temporariamente no nucléolo:

[...] Esses locais, que contêm os genes para o RNA ribossômico, são chamados de regiões organizadoras do nucléolo. As moléculas de RNA ribossômico recém-sintetizadas se acumulam, durante certo tempo, ao redor dessas regiões, formando corpos densos chamados nucléolos (LDA, v. 1, p. 252).

#### 3.2.4.52 Após sintetizado, o rRNA migra para o citoplasma

Conforme citação apresentada na seção 3.2.4.51, de acordo com Alberts *et al.* (2008), as moléculas de rRNA produzidas no nucléolo são transportadas para o citoplasma.

O LDB aproxima-se da referência ao também dizer que tais moléculas de rRNA migram para o citoplasma: “O RNAr origina-se do DNA em regiões especiais de alguns cromossomos relacionadas com o nucléolo (região organizadora do nucléolo). Migrando até o citoplasma, o RNAr associa-se a proteínas, formando os ribossomos, tendo portanto função estrutural” (LDB, p. 70).

#### 3.2.4.53 O ribossomo é formado por moléculas de RNA ribossômico e proteínas

De acordo com a referência, o ribossomo é uma organela composta de moléculas de RNA e proteínas, conforme se verifica no glossário da obra: “**ribosome** A complex organelle that catalyzes the translation of messenger RNA into an amino acid sequence; composed of proteins plus rRNA” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 796).

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que os ribossomos são estruturas formadas por RNA ribossômico e proteínas: “[...] As moléculas de RNA ribossômico presentes no nucléolo se unem a proteínas especiais vindas do citoplasma para formar os ribossomos, as estruturas citoplasmáticas que produzem as proteínas” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDB, LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.54 O ribossomo é responsável pela produção de proteínas

De acordo com a referência, os ribossomos são estruturas responsáveis pela produção de proteínas: “**Ribosomal RNA (rRNA)** molecules are the major components of ribosomes, which are large macromolecular machines that guide the assembly of the amino acid chain by the mRNAs and tRNAs” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 299).

Conforme citação acima mencionada, na seção 3.2.4.53, o LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que os ribossomos são responsáveis pela síntese protéica.

A mesma aproximação pode ser evidenciada nos LDB, LDJ, e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.55 Os mRNAs são produzidos a partir de regiões ativas do DNA

De acordo com a Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), a transcrição é regulada através da ativação e desativação do gene:

Initiation of transcription is regulated by interactions that occur in the vicinity of the promoter. The ability of RNA polimerase to initiate at the promoter is prevented or activated by other proteins. Genes that are active unless they are turned off by binding the regulator are said to be under negative control. Genes that are active only when the regulator is bound to them are said to be under positive control. [...] (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 763).

O LDB se aproxima da referência ao dizer que os mRNAs são produzidos por regiões ativadas do DNA: “Os RNAs mensageiros são as cópias dos genes (segmentos de DNA) que serão traduzidos em proteínas. São formados a partir de regiões ativas do DNA, responsáveis pela expressão genética (LDB, p. 70)”.

#### 3.2.4.56 Em eucariontes, o RNA mensageiro migra do núcleo para o citoplasma

Segundo a referência, o RNA transcrito é levado para o citoplasma, no caso dos eucariontes: “[...] In eukaryotes, RNA is synthesized in the nucleus where the DNA is located

and exported out of the nucleus into the cytoplasm for translation (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 305).

Alberts *et al.* (2008) também mencionam que o RNA em eucariontes migra do núcleo para o citoplasma, enquanto, em procariontes, tanto a transcrição como a tradução ocorrem no mesmo compartimento:

[...] In eucaryotic cells the RNA molecule resulting from transcription contains both coding (exon) and noncoding (intron) sequences. Before it can be translated into protein, the two ends of the RNA are modified, the introns are removed by an enzymatically catalyzed RNA splicing reaction, and the resulting mRNA is transported from the nucleus to the cytoplasm. [...]. Since procaryotic cells lack a nucleus, transcription and translation take place in a common compartment. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008b, p. 345).

O LDB aproxima-se da referência ao também dizer que o mRNA sintetizado no núcleo migra para o citoplasma. Ao abordar o núcleo eucarionte, os autores comentam: “O RNAm destaca-se, então, da fita molde do DNA que lhe deu origem e migra para o citoplasma, onde se associa aos ribossomos [...]” (LDB, p. 71).

O LDJ também se aproxima da referência ao dizer que, em eucariontes, ocorre a passagem do RNA mensageiro do núcleo para o citosol: In eukaryotic cells, mRNA carries the genetic “message” from DNA in nucleus to the ribosomes in the cytosol” (LDJ, p. 205). Segundo a referência, o citosol é a parte líquida que compõem o citoplasma: “**cytoplasm** The material between the nuclear and the cell membranes, includes fluid (cytosol), organelles and various membranes” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 783).

A mesma aproximação também foi encontrada no LDK; porém, esse livro distancia-se da referência ao dizer que o mRNA transcrito migra em direção ao ribossomo: “[...] **Translation** Once the mRNA is synthesized and processed, it moves to the ribosome. In eukaryotes, this means the mRNA must leave the nucleus and enter the cytoplasm” (LDK, p. 338).

Conforme citação abaixo, é o ribossomo que se forma aos poucos no mRNA, sendo inserida uma unidade de cada vez. Portanto, ele sequer se encontra completamente formado quando o mRNA acabou de ser transcrito. Ao descrever como ocorre a iniciação da tradução em eucariontes, a referência diz:

[...] On arrival in the cytoplasm, the mRNA is usually covered with proteins, and regions may be double helical due to intramolecular base pairing. These regions of

secondary structure must be removed to expose the AUG initiator codon. This removal is accomplished by eukaryotic initiation factors called eIF4A, B, and G. These initiation factors associate with the cap structure (found at the 5' end of virtually all eukaryotic mRNAs) and with the 40S subunit and initiator tRNA to form an initiation complex. After the AUG codon is properly aligned with the initiator tRNA, the initiation complex is joined by the 60S subunit to form the 80S ribosome. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 337-338).

O mesmo conhecimento é apresentado por Alberts *et al.* (2008): “When not actively synthesizing proteins, the two subunits of the ribosome are separate. They join together on an mRNA molecule, usually near its 5' end, to initiate the synthesis of a protein” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 375).

Similarmente pode-se encontrar essa informação em Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) (ANEXO H).

O LDL também se distancia da referência por não especificar que a migração do mRNA do núcleo para o citoplasma ocorre apenas em eucariontes: “Before translation occurs, messenger RNA is transcribed from DNA in the nucleus and released into the cytoplasm” (LDL, p. 304).

Na citação abaixo, Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) mencionam essa diferenciação entre a transcrição que ocorre em eucariontes e em procariontes:

Messenger RNA has the same function in all cells, but there are important differences in the details of the synthesis and structure of procaryotic and eukaryotic mRNA.

A major difference in the production of mRNA depends on the locations where transcription and translation occur:

- In bacteria, mRNA is transcribed and translated in the single cellular compartment; the two processes are also closed linked that they occur simultaneously. Ribosomes attach to bacterial mRNA even before its transcription as been completed, so the *polysome* is likely still to be attached to DNA. [...]
- In a eukaryotic cell, synthesis and maturation of mRNA occur exclusively in the nucleus. Only after these events are completed is the mRNA exported to the cytoplasm, where it is translated by ribosomes. [...] (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 538-539).

#### 3.2.4.57 A passagem do mRNA ao citoplasma é realizada pelos poros nucleares

De acordo com Alberts *et al.* (2008), o mRNA sintetizado no núcleo é transferido para o citoplasma através dos complexos do poro nuclear: “Os mRNA adequadamente processados são guiados através dos canais aquosos dos **complexos do poro nuclear** (NPCs, *nuclear pore complexes*) da membrana nuclear, os quais conectam diretamente o nucleoplasma e o citosol [...]” (ALBERTS *et al.*, 2010, p. 358) ou “Successfully processed mRNAs are guided through the **nuclear pore complexes** (NPCs) – aqueous channels in the nuclear membrane that directly connect the nucleoplasm and cytosol [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 358). De acordo com tais autores, esse complexo composto por um canal denominado poro nuclear. No glossário da obra, apresentam a seguinte definição: “**nuclear pore complex (NPC)** Large multiprotein structure forming an aqueous channel (the nuclear pore) through the nuclear envelope that allows selected molecules to move between nucleus and cytoplasm. [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. G-26).

O LDK também se aproxima da referência ao dizer que a migração das moléculas de mRNA do núcleo para o citoplasma ocorre através do poro nuclear: “The new mRNA then moves out of the nucleus through nuclear pores into the cytoplasm” (LDK, p. 337).

#### 3.2.4.58 Os RNAs mensageiros são cópias de parte dos genes

A referência menciona que um mRNA é uma cópia de um gene. Essa afirmação é apresentada pelos autores ao falar sobre informação presente no DNA: “[...] this information is static, embedded in the sequence of the DNA. To utilize the information, an intermediate molecule that is a copy of a discrete gene must be synthesized with the use of the DNA sequence as a guide [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 296).

Entretanto, de acordo com a referência, um gene não é apenas composto pelo segmento de DNA transcrito. Ele possui também uma região regulatória: “**gene** [...] a segmento of DNA composed of a transcribed region and a regulatory sequence that makes transcription possible” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 786).

Segundo as afirmações dos autores, a região promotora antecede o sítio de iniciação e, portanto, não é transcrita:

The first transcribed base is always at the same location, designated the initiation site. The promoter is referred to as upstream of the initiation site because it is located ahead of the initiation site, in the direction opposite the direction of transcription. A **downstream** site would be located later in the direction of transcription. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 302).

Desse modo, de acordo com a referência, o produto da transcrição, o RNA mensageiro, não é simplesmente uma cópia do gene, já que a região promotora do gene não é copiada durante a síntese da molécula, e sim somente a parte transcrita após o sítio de iniciação.

O LDB se distancia da referência quando diz que os RNAs são cópias do gene, mas não apresenta elementos para que o leitor possa compreender que não é toda a sequência do gene que é copiada: “Os RNAs mensageiros são as cópias dos genes (segmentos de DNA) que serão traduzidos em proteínas.” (LDB, p. 70). Ademais, como afirmam Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), é preciso considerar que, em genes mais complexos de organismos eucariontes, há o processamento do pré-mRNA. Nesse processo, algumas regiões do mRNA, denominadas íntrons, são excluídas, e a molécula de mRNA passa a ser formada apenas pelas regiões denominadas éxons:

For the simplest eukaryotic genes (just like in bactéria) the translated RNA is in fact the transcribed copy of the gene. For more complex genes, however, the immediate transcript of the gene is a **pre-mRNA** that requires **RNA processing** to generate the mature mRNA. [...] The process of splicing removes these regions from the pre-mRNA to generate an RNA that has continuous open reading frame [...] KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 38-39).

Lodish *et al.* (2007) também dizem que nem toda a sequência de DNA do gene é transcrita em mRNA, definindo gene, em termos moleculares, como uma sequência de DNA composta por éxons, íntrons e regiões de controle da transcrição (ANEXO H).

Já o LDL aproxima-se da referência ao dizer que o RNA é uma cópia de um segmento de DNA: “You can think of an RNA molecule as a disposable copy of a segment of DNA. In many cases, an RNA molecule is a working copy of a single gene. [...]” (LDL, p. 300). Entretanto, como é possível verificar na citação, apresenta o mesmo distanciamento presente no LDB.

É preciso dizer, entretanto, que há na literatura uma dúvida quanto ao que pode ser chamado de gene. Segundo Pitombo, Almeida e El-Hani (2007) e Flodin *et al.* (2009), ainda não há uma clareza sobre o que incluir no conceito de gene. Desse modo, o que incluir ou não

dentro do conceito ainda seria discutível. Entretanto, conforme Flodin *et al.* (2009) argumentam, quando o conceito é definido pela função, é preciso considerar que essa função depende não apenas da sequência de nucleotídeos que dará origem ao RNA, mas também de outras sequências de DNA, como as regiões promotoras e outras também responsáveis por regular a expressão gênica.

#### 3.2.4.59 As proteínas são produzidas a partir de uma molécula de RNA mensageiro

De acordo com a referência, o processo o processo de tradução consiste na síntese de um polipeptídeo por meio de uma molécula de RNA mensageiro: “**translation** The ribosome - and tRNA- mediated production of a polypeptide whose amino acid sequence is derived from the codon sequence of a mRNA molecule” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 800).

Um polipeptídeo é considerado pela referência como sinônimo de proteína: “**polypeptide** A chain of linked amino acids; a protein” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 794).

Desse modo, o LDB aproxima-se da referência ao dizer que os mRNAs são traduzidos em proteínas: “Os RNAs mensageiros são as cópias dos genes (segmentos de DNA) que serão traduzidos em proteínas” (LDB, p. 70).

Os LDJ, LDK e LDL também aproximam-se da referência ao dizer que as proteínas são produzidas a partir de RNAs mensageiros (ANEXO H).

#### 3.2.4.60 O códon de início geralmente é formado pela trinca AUG

Segundo a referência, a tradução na maioria das vezes começa em um códon AUG de iniciação: “**Translation initiation** [...] In most prokaryotes and all eukaryotes, the first amino acid in any newly synthesized polypeptide is methionine, specified by the codon AUG. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 336).

O LDA aproxima-se da referência ao se referir ao códon AUG como possível códon de iniciação do processo de tradução:

A síntese de um polipeptídeo tem início com a associação entre um ribossomo, um RNAm e um RNAt especial, que transporta o aminoácido metionina. Esse RNAt, cujo anticódon é UAC, emparelha-se com um códon AUG presente perto da extremidade inicial da molécula do RNAm. Essa trinca AUG constitui o chamado códon de início de tradução, pois é ele que determina o local da molécula de RNAm em que tem início a informação para a cadeia polipeptídica. (LDA, v. 1, p. 253-254).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

Entretanto, tanto o LDA como os demais livros didáticos aqui mencionados distanciam-se da referência ao generalizar a informação. De acordo com a referência, o códon AUG é *na maior parte das vezes* o códon de iniciação. Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) mencionam que há também outros códons de iniciação em bactérias: “The signal for initiating a polypeptide chain is a special initiation codon that marks the start of the reading frame. Usually the initiation codon is the triplet AUG, but in bacteria GUG or UUG are also used” (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 673). Lodish *et al.* (2007), além de mencionarem que o códon GUG caracteriza-se como iniciador em bactérias, dizem que ocasionalmente em eucariontes o códon CUG possui a mesma função: “In most mRNAs, the *start (initiator) codon* specifying this amino-terminal methionine is AUG. In a few bacterial mRNAs, GUG is used as the initiator códon, and CUG occasionally is used as na initiator codon for methionine in eukaryotes. [...]” (LODISH *et al.*, 2007, p. 127).

#### 3.2.4.61 O primeiro aminoácido de um polipeptídeo recém-sintetizado é a metionina

Conforme citação presente na seção 3.2.4.60, Griffiths *et al.* (2008b) dizem que, geralmente, a metionina é o primeiro aminoácido inserido no polipeptídeo sintetizado.

O LDJ aproxima-se da referência ao também dizer que quase todos os polipeptídeos recém-sintetizados possuem metionina como o primeiro aminoácido da molécula: “The first amino acid in nearly all polypeptides is methionine, but this amino acid may be moved later” (LDJ, p. 209).

### 3.2.4.62 O códon de início de tradução é onde se inicia a informação para a formação da cadeia polipeptídica

De acordo com a referência, não é toda a informação do mRNA que é traduzida. Existe uma região entre o sítio de início da transcrição e o sítio de início da tradução que não é traduzida: “[...] Recall that, in both prokaryotes and eukaryotes, mRNA has a 5’ untranslated region consisting of the sequence between the transcriptional start site and the translational start site. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 336).

Dentre as citações mencionadas na seção 3.2.4.60, é possível notar que o LDA se aproxima da referência ao também dizer que a leitura da informação no processo de tradução inicia-se a partir do códon de início.

Já o LDK distancia-se da referência ao dizer que o código começa a ser traduzido desde a ponta 5’ do mRNA, desconsiderando que, entre essa ponta e o código de início, existe um trecho que não é traduzido: “Once in the cytoplasm, the 5’ end of the mRNA connects to the ribosome. This is where the code is read and translated to make a protein through a process called **translation** [...]” (LDK, p. 338).

### 3.2.4.63 O códon de início fica próximo ao início do mRNA

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.4.62, Griffiths *et al.* (2008b) explicam que, tanto em eucariontes como em procariontes, há uma região do mRNA entre a ponta 5’ e o sítio de início da tradução, que não é traduzida.

Os autores afirmam que, em procariontes, é nessa região que se encontra uma sequência específica denominada Shine-Dalgarno, onde se insere a primeira subunidade ribossômica que se liga ao mRNA para formar o complexo de iniciação:

*Initiation in prokaryotes* Initiation codons are preceded by special sequences called Shine-Dalgarno sequences that pair with the 3’ end of an rRNA, called the 16S rRNA, in the 30S ribosomal subunit. [...] The mRNA can pair only with a 30S subunit that is dissociated from the rest of the ribosome. Note again that rRNA performs the key function in ensuring that the ribosome is at the right place to start translation.

Three proteins - F1, IF2, and IF3 (for **initiation factor**) - are required for correct initiation (Figure 9-15). IF3 is necessary to keep the 30S subunit dissociated from the 50S subunit, and IF1 and IF2 act to ensure that only the initiator tRNA enters the P site. The 30S subunit, mRNA, and initiator tRNA constitute the initiation complex. The complete 70S ribosome is formed by the association of the 50S large subunit with the initiation complex and the release of the initiation factors.

[...] the prokaryotic initiation complex is able to form at a Shine-Dalgarno sequence near the 5' end of an RNA that is still being transcribed [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 336).

Portanto, segundo a referência, essa sequência onde ocorre a ligação da primeira subunidade ribossômica encontra-se próxima à ponta 5' do mRNA, mas não exatamente nessa ponta. Somente depois que essa conexão ocorre, quando um sítio específico dessa subunidade, denominado P, encontra-se com o sítio de iniciação, é que o ribossomo completo se forma.

Em eucariontes, uma das subunidades ribossômicas é capaz de percorrer o mRNA desde a ponta 5', ao formar o complexo de iniciação. Entretanto o ribossomo completo também só é formado quando o complexo de iniciação atinge o códon de início:

*Initiation in eukaryotes* Transcription and translation take place in separate compartments of the eukaryotic cell. As discussed in Chapter 8, eukaryotic mRNAs are transcribed and processed in the nucleus before export to the cytoplasm for translation. On arrival in the cytoplasm, the mRNA is usually covered with proteins, and regions may be double helical due to intramolecular base pairing. These regions of secondary structure must be removed to expose the AUG initiator codon. This removal is accomplished by eukaryotic initiation factors called eIF4A, B, and G. These initiation factors associate with the cap structure (found at the 5' end of virtually all eukaryotic mRNAs) and with the 40S subunit and initiator tRNA to form an initiation complex. Once in place, the complex moves in the 5' to- 3' direction and unwinds the base-paired regions [...]. At the same time, the exposed sequence is "scanned" for an AUG codon where translation can begin. After the AUG codon is properly aligned with the initiator tRNA, the initiation complex is joined by the 60S subunit to form the 80S ribosome. As in prokaryotes, the eukaryotic initiation factors dissociate from the ribosome before the elongation phase of translation begins (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 336-338).

Da mesma forma, essa informação é também apresentada por Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), quando comentam sobre a tradução em eucariontes (ANEXO H). Além

disso, Alberts *et al.* (2008)<sup>56</sup> dizem que o ribossomo se forma em uma região próxima à extremidade 5' do mRNA.

Dessa forma, de acordo com as referências, o ribossomo completo é formado no sítio de iniciação, perto da extremidade 5' do mRNA. Portanto, o sítio de iniciação encontra-se próximo ao início do mRNA.

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que o sítio de iniciação fica próximo ao início da molécula mensageira:

A síntese de um polipeptídeo tem início com a associação entre um ribossomo, um RNAm e um RNAt especial, que transporta o aminoácido metionina. Esse RNAt, cujo anticódon é UAC, emparelha-se com um códon AUG presente perto da extremidade inicial da molécula do RNAm (LDA, v. 1, p. 253-254).

Entretanto, o LDK se distancia da referência ao dizer que o códon de início AUG fica na extremidade 5' da molécula de mRNA:

[...] When the mRNA leaves the nucleus, the two parts of the ribosome come together and attach to the mRNA to complete the ribosome. Once the mRNA is associated with the ribosome, a tRNA with the anticodon CAU carrying a methionine will move in and bind to the mRNA with the mRNA start codon AUG on the 5' end of the mRNA. [...] (LDK, p. 340).

#### 3.2.4.64 O ribossomo serve de suporte para o acoplamento entre o RNA mensageiro e o RNA transportador

De acordo com a referência, os ribossomos possibilitam a união do tRNA e do mRNA, os quais se posicionam no ribossomo de forma que o códon do mRNA interaja com o anticódon do tRNA:

The ribosome brings together the other important players in protein synthesis- tRNA and mRNA molecules - to translate the nucleotide sequence of an mRNA into the amino acid sequence of a protein. The tRNA and mRNA molecules are positioned in

---

<sup>56</sup> Ver citação mencionada na seção 3.2.4.56

the ribosome so that the codon of the mRNA can interact with the anticodon of the tRNA. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 334).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar que o ribossomo serve como suporte para a união entre o mRNA e o tRNA. “[...] O ribossomo, por sua vez, serve de suporte para o acoplamento do RNAm e dos RNAt” (LDA, v. 1, p. 252).

3.2.4.65 O RNA transportador é responsável por transportar os aminoácidos que irão compor a proteína sintetizada até o ribossomo

Segundo a referência, o RNA transportador é um tipo de molécula de RNA responsável por levar os aminoácidos para os ribossomos durante o processo de tradução: “**Transfer RNA (tRNA)** molecules are responsible for bringing the correct amino acid to the mRNA in the process of translation” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 299).

O LDB aproxima-se da referência ao dizer que os tRNAs possuem a função de transportar os aminoácidos até o mRNA associado aos ribossomos: “[...] O RNAt é produzido no núcleo a partir do DNA e migra para o citoplasma, onde desempenha a função de capturar aminoácidos e, em seguida, transportá-los para o RNA mensageiro, que se encontra associado aos ribossomos” (LDB, p. 71).

A mesma aproximação foi encontrada no LDK, que também diz que os tRNAs transportam os aminoácidos até os ribossomos (ANEXO H).

Sendo mais específico, o LDA também se aproxima da referência ao também se referir aos tRNAs como transportadores dos aminoácidos para os ribossomos, *para a constituição das proteínas*: “Esse tipo de RNA é chamado de transportador por ser o responsável pelo transporte das moléculas de aminoácidos até os ribossomos, onde elas se unem para formar as proteínas. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

Essa aproximação ainda foi presenciada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

3.2.4.66 Cada aminoácido é ligado a um RNA transportador específico

Segundo a referência, cada aminoácido conecta-se a um tRNA específico:

[...] Each amino acid becomes attached to a specific tRNA, which then brings that amino acid to the ribosome, the molecular complex that will attach the amino acid to a growing polypeptide.

[...] The tRNA with an attached amino acid is said to be charged. Each amino acid has a specific synthetase that links it only to those tRNAs that recognize the codons for that particular amino acid. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar a especificidade do aminoácido com o tRNA. Ao falar sobre o tRNA, os autores mencionam: “[...] Em uma das extremidades liga-se um aminoácido específico; [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação pode ser encontrada nos LDB e LDL (ANEXO H).

### 3.2.4.67 O aminoácido é ligado a uma das extremidades do tRNA

A referência menciona que o aminoácido liga-se à ponta 3’ do tRNA. No trecho a seguir, os autores descrevem como essa ligação ocorre, utilizando o aminoácido alanina como exemplo:

[...] At one end of a tRNA molecule for a particular amino acid is an anticodon made up of three nucleotides that are the complement of the codon for that amino acid, and so they will pair with the appropriate codon on the mRNA. At the other end of each tRNA is the amino acid that is being coded. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 8).

[...] An amino acid is attached at the free 3' end of its tRNA, the amino acid alanine in the case shown in Figures 9-7a and 9-8 (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

O mesmo conhecimento é apresentado por Lodish *et al.* (2007) (ANEXO H).

Já Alberts *et al.* (2008) são ainda mais específicos ao mencionar a existência de *uma* região específica do tRNA onde ocorre a ligação com o aminoácido:

Two regions of unpaired nucleotides situated at either end of the L-shaped molecule are crucial to the function of tRNA in protein synthesis. One of these regions forms the **anticodon**, a set of three consecutive nucleotides that pairs with the complementary codon in an mRNA molecule. The other is a short single-stranded

region at the 3' end of the molecule; this is the site where the amino acid that matches the codon is attached to the tRNA (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 368-369).

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que a ligação do aminoácido ao tRNA ocorre a partir de uma das extremidades dessa última molécula. Ao mencionar o tRNA, os autores dizem: “[...] Em uma das extremidades liga-se um aminoácido específico; em sua região mediana há uma trinca de bases, o anticódon. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi encontrada no LDJ (ANEXO H).

Especificando ainda mais, o LDK também se aproxima da referência ao dizer que essa ligação ocorre na ponta 3’: “[...] The tRNA is folded into a cloverleaf shape and is activated by an enzyme that attaches a specific amino acid to the 3’end. [...]” (LDK, p. 338).

Já o LDB distancia-se da referência ao mencionar que o tRNA possui uma região própria para cada aminoácido: “O RNAt é dotado de uma região específica para cada aminoácido [...]” (LDB, p. 71). Pode-se interpretar por meio desse trecho que um mesmo tRNA possuiria vários sítios de ligação, um para cada aminoácido. É possível verificar, nos trechos extraídos da referência, apenas a menção de um sítio de ligação para aminoácidos em cada tRNA, a sua ponta 3’.

#### 3.2.4.68 A ligação entre um aminoácido e um tRNA é realizada por uma enzima denominada aminoacil-tRNA sintetase

De acordo com a referência, um aminoácido é ligado ao tRNA por meio de uma aminoacil-tRNA sintetase: “Amino acids are attached to tRNAs by enzymes called aminoacyl-tRNA synthetases [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

O mesmo conhecimento é apresentado por Alberts *et al.* (2008): “Recognition and attachment of the correct amino acid depends on enzymes called **aminoacyl-tRNA synthetases**, which covalently couple each amino acid to its appropriate set of tRNA molecules [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 370). Essa informação é também apresentada por Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) (ANEXO H).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que há enzimas que realizam a ligação entre o aminoácido e o tRNA. “Enzymes first attach a specific amino acid to one end of each tRNA according to the genetic code” (LDJ, p. 208).

A mesma aproximação foi encontrada no LDK (ANEXO H).

O LDB distanciou-se da referência ao dizer que é o tRNA o responsável por capturar os aminoácidos: “[...] O RNAt é produzido no núcleo a partir do DNA e migra para o citoplasma, onde desempenha a função de capturar aminoácidos e, em seguida, transportá-los para o RNA mensageiro, que se encontra associado aos ribossomos” (LDB, p. 71).

### 3.2.4.69 A especificidade do tRNA pelo aminoácido pode ser determinada pelo anticódon

Segundo Alberts *et al.* (2008), o anticódon pode determinar qual será o aminoácido a ser ligado ao tRNAt. Caso seja ligado um aminoácido não equivalente, por exemplo, o aminoácido pode ser modificado quimicamente para que ocorra a sua correspondência com o anticódon. Entretanto, dependendo da sintetase, outros mecanismos podem ser determinantes:

Most cells have a different synthetase enzyme for each amino acid (that is, 20 synthetases in all); one attaches glycine to all tRNAs that recognize codons for glycine, another attaches alanine to all tRNAs that recognize codons for alanine, and so on. Many bacteria, however, have fewer than 20 synthetases, and the same synthetase enzyme is responsible for coupling more than one amino acid to the appropriate tRNAs. In these cases, a single synthetase places the identical amino acid on two different types of tRNAs, only one of which has an anticodon that matches the amino acid. A second enzyme then chemically modifies each "incorrectly" attached amino acid so that it now corresponds to the anticodon displayed by its covalently linked tRNA (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 370).

[...] Most tRNA synthetases directly recognize the matching tRNA anticodon; these synthetases contain three adjacent nucleotide-binding pockets, each of which is complementary in shape and charge to a nucleotide in the anticodon. For other synthetases, the nucleotide sequence of the acceptor stem is the key recognition determinant. In most cases, however, the synthetase "reads" the nucleotides at several different positions on the tRNA (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 373).

Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) apresentam o mesmo conhecimento, também mencionando que o anticódon pode não ser necessário para o reconhecimento da tRNA sintetase:

In many cases the determinants in tRNA that are needed for specific recognition are located at the extremities of the molecule in the acceptor stem and the anticodon loop. There are also a number of examples, however where nucleotides in the tertiary core provide the identity signals. Another commonly used identity nucleotide is the “discriminator base” at position 73 in the tRNA, which is located directly 5’ to the 3’ – terminal CCA sequence. Interestingly the anticodon sequence of the tRNA is not necessarily required for specific tRNA synthetase recognition (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 717-118).

O LDB distancia-se da referência ao dizer que o que dá a especificidade do tRNA ao aminoácido é o anticódon, sem especificar que isso varia dependendo do caso: “[...] A especificidade do RNAt para um determinado aminoácido é estabelecida pela trinca de bases nitrogenadas que se apresenta numa certa região. Essa trinca de bases é denominada anticódon, que deve ser complementar ao códon do RNAm” (LDB, p 71).

O mesmo distanciamento foi identificado no LDJ, ao dizer que a ligação do aminoácido ao tRNA depende do código genético: “[...] Enzymes first attach a specific amino acid to one end of each tRNA according to the genetic code. [...]” (LDJ, p. 208).

#### 3.2.4.70 Na região mediana do tRNA está o seu anticódon

Segundo a referência, na região central do tRNA encontra-se o anticódon: “[...] The middle loop of each tRNA is called the anticodon loop because it carries a nucleotide triplet called an anticodon. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que o anticódon encontra-se na região central do RNA transportador. Ao mencionar o tRNA, os autores dizem: “[...] Em uma das extremidades liga-se um aminoácido específico; em sua região mediana há uma trinca de bases, o anticódon. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi encontrada no LDK (ANEXO H).

Entretanto, a visualização do posicionamento do anticódon na molécula de tRNA pode ser relativa. Pode-se considerar que o anticódon está na região mediana do tRNA ao se considerar que ele está disposto na alça do meio, ou então, por ele ser composto pelos nucleotídeos que estão na região mediana do filamento de nucleotídeos que forma a molécula.

Como os autores da referência dizem, a molécula encontra-se disposta em forma de trevo, composta por alças unifilamentares:

The structure of tRNA holds the secret of the specificity between an mRNA codon and the amino acid that it designates. The single-stranded tRNA molecule has a cloverleaf shape consisting of four double-helical stems and three single-stranded loops (Figure 9-7a). [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

A figura mencionada pelos autores é apresentada neste texto como Figura 6, a seguir:

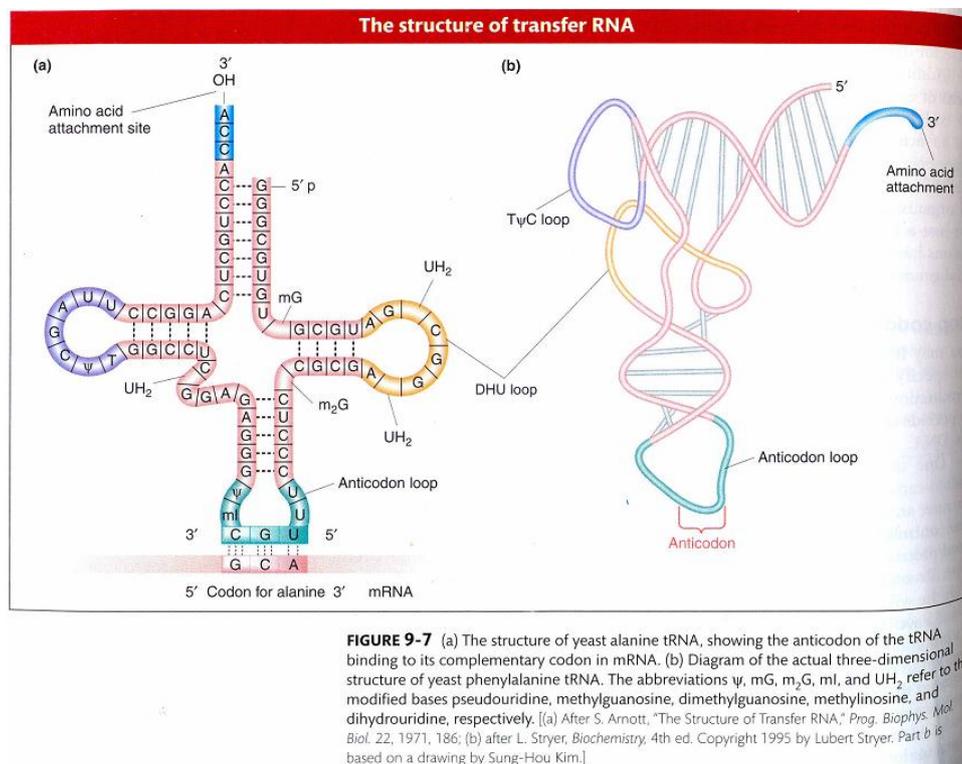


Figura 6 - Representações da estrutura de uma molécula de tRNA apresentada pela referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 330)

Portanto, verifica-se que a molécula de tRNA pode ser considerada não somente como uma molécula unifilamentar, mas, em sua forma tridimensional, como um trevo.

Nesse caso, as pontas da molécula podem ser comparadas com o ápice dos folíolos de um trevo. Esse pode ser o significado pretendido quando os autores da referência dizem que o anticódon se encontra em uma das pontas da molécula de tRNA (na versão em português, GRIFFITHS *et al.*, 2008a; ou *end*, na versão em inglês já transcrita na seção 3.2.4.67):

[...] Em uma ponta de uma molécula de tRNA para determinado aminoácido, há um **anticódon** feito de três nucleotídeos que são o complemento do códon para esse aminoácido e, assim, irão parear com o códon apropriado no mRNA. Na outra ponta de cada tRNA está o aminoácido que está sendo codificado [...]. (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 6).

[...] Um aminoácido é ligado à ponta 3' de seu tRNA, o aminoácido alanina no caso mostrado nas Figuras 9.7 e 9.8 (GRIFFITHS *et al.*, 2008a, p. 284).

Desse modo, pode-se dizer que o LDJ também se aproxima da referência ao mencionar que o anticódon se localiza em uma das extremidades do tRNA: “Enzymes first attach a specific amino acid to one end of each tRNA according to the genetic code” (LDJ, p. 208).

#### 3.2.4.71 O anticódon é composto por três bases

Em seu glossário, a referência afirma que o anticódon é formado por três nucleotídeos: “**anticodon** A nucleotide triplet in a tRNA molecule that aligns with a particular códon in mRNA under the influence of the ribosome” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 780).

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que o anticódon é composto por três bases. Ao mencionar o tRNA, os autores dizem: “[...] Em uma das extremidades liga-se um aminoácido específico; em sua região mediana há uma trinca de bases, o anticódon. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

Essa mesma aproximação foi encontrada nos LDB, LDJ e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.72 O anticódon do tRNA pode emparelhar-se com o mRNA complementar

Segundo a referência, o anticódon do tRNA possui a capacidade de se emparelhar com uma sequência complementar de nucleotídeos do mRNA:

[...] The anticodon in tRNA and the codon in the mRNA bind by specific RNA-to-RNA base pairing. (Again, we see the principle of nucleic acid complementarity at work, this time in the binding of two different RNAs.) Because codons in mRNA are

read in the 3' → 5' direction, anticodons are oriented and written in the 3' → 5' direction (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que o anticódon do tRNA se emparelha com a sequência complementar do RNA mensageiro:

[...] Por meio do anticódon, o RNAt emparelha-se temporariamente a uma trinca de bases complementares do RNA mensageiro (RNAm), o **códon** [...]. A correspondência entre o códon e seu respectivo aminoácido é feita pelo RNAt, por meio do anticódon. Por exemplo, o RNAt com anticódon UAC encaixa-se no RNAm apenas onde houver o códon AUG. Como esse RNAt transporta o aminoácido metionina, é ele que irá se encaixar nos locais da cadeia polipeptídica correspondentes aos códons AUG do RNAm (LDA, v. 1, p. 252).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDB e LDJ (ANEXO H).

Além de tais livros, os LDK e LDL também se aproximam da referência ao dizer que o anticódon é complementar a um códon do mRNA (ANEXO H).

Entretanto, tanto o LDA como os LDB, LDJ, LDK e LDL se distanciam da referência ao generalizar a informação, já que nem sempre o anticódon do tRNA parecia com uma sequência complementar do mRNA. Como Lodish *et al.* (2007) afirmam, muitas células possuem menos do que 61 tRNAs e, portanto, há casos em que um mesmo tRNA parecia com mais de um códon para o mesmo aminoácido por meio de um pareamento não padrão, em que geralmente os dois primeiros pares de bases são complementares, mas o terceiro não:

If perfect Watson-Crick base pairing were demanded between codons and anticodons, cells would have to contain at least 61 different types of tRNAs, one for each codon that specifies an amino acid. As noted above, however, many cells contain fewer than 61 tRNAs. The explanation for the smaller number lies in the capability of a single tRNA anti-codon to recognize more than one, but not necessarily every codon corresponding to a given amino acid. This broader recognition can occur because of nonstandard pairing between bases in the so-called *wobble* position: that is, the third (3') base in an mRNA codon and the corresponding first (5') base in its tRNA anticodon.

The first and second bases of a codon almost always form standard Watson-Crick base pairs with the third and second bases, respectively, of the corresponding anticodon, but four nonstandard interactions can occur between bases in the wobble position. Particularly important is the G·U base pair, which structurally fits almost as well as the standard G·C pair. [...] (LODISH *et al.*, 2007, p. 130).

### 3.2.4.73 O anticódon é lido no sentido 3' para 5'

Conforme citação mencionada na seção 3.2.4.72, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), o anticódon do tRNA é lido do sentido 3' para o 5'.

O LDK aproxima-se da referência ao também dizer que o anticódon é lido no mesmo sentido: “[...] Though the code in DNA and RNA is read 5’ to 3’, the anticon is read 3’ to 5’” (LDK, p. 338).

3.2.4.74 O RNA transportador atua como adaptador, encaixando os aminoácidos de acordo com os códons do RNA mensageiro

De acordo com a referência, o RNA transportador funciona como um adaptador do códon presente no RNA mensageiro ao aminoácido específico para este: “[...] Amino acids are in fact attached to an adapter (recall that adapters constitute a special class of stable RNAs called *transfer RNAs*). [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

A mesma informação é abordada por Alberts *et al.* (2008):

The codons in an mRNA molecule do not directly recognize the amino acids they specify: the group of three nucleotides does not, for example, bind directly to the amino acid. Rather, the translation of mRNA into protein depends on adaptor molecules that can recognize and bind both to the codon and, at another site on their surface, to the amino acid. These adaptors consist of a set of small RNA molecules known as transfer RNAs (tRNAs), each about 80 nucleotides in length (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 368).

Watson *et al.* (2007) também apresentam o mesmo conhecimento, como se pode observar no ANEXO H.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que os tRNAs atuam como adaptadores que permitem o encaixe dos aminoácidos segundo o códon do mRNA: “[...] Assim, os RNAt atuam na síntese das proteínas como “adaptadores”, encaixando os aminoácidos de acordo com os códons do RNAm. [...]” (LDA, v. 1, p. 252).

Já o LDL aproxima-se da referência ao dizer que o tRNA traz para o ribossomo o RNA específico para o códon do mRNA que nele se posiciona: “[...] As each codon of the mRNA molecule moves through the ribosome, the proper amino acids brought into the ribosome by tRNA. [...]” (LDL, p. 304).

Entretanto, LDK distancia-se da referência ao dizer que o tRNA atua como intérprete da sequência de mRNA: “In translation, tRNA molecules act as the interpreters of the mRNA codon sequence. [...]” (LDK, p. 338). Entretanto, pode-se supor que os autores estão utilizando uma metáfora que se encaixa dentro da metáfora da “informação”, utilizada em outros momentos pela referência, para também descrever o papel do tRNA. Apesar de não ficar explícito no texto, os autores provavelmente estariam se referindo à função do tRNA de reconhecer o códon do mRNA correspondente ao aminoácido que carrega.

#### 3.2.4.75 Diversas enzimas participam do processo de tradução

Griffiths *et al.* (2008b) dizem que há várias enzimas que atuam no processo de tradução, como as aminoacil-tRNA sintetases mencionadas na citação apresentada na seção 3.2.4.68. Complementando o referido trecho, os autores ainda dizem que existem vinte dessas enzimas: “[...] There are 20 of these remarkable enzymes in the cell, one for each of the 20 amino acids [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 331).

O LDA aproxima-se da referência ao mencionar a participação de diversas enzimas no processo de tradução: “No processo de tradução gênica participam, entre outros fatores, um ribossomo, um RNAm, vários RNAt, aminoácidos e diversas enzimas. [...]” (LDA, v. 1, p. 253).

#### 3.2.4.76 O ribossomo completo é formado no sítio de iniciação

Como verificado nas citações da seção 3.2.4.56 e 3.2.4.63, de acordo com as referências consultadas, o ribossomo completo é formado no sítio de iniciação, perto da extremidade 5' do mRNA.

O LDA distancia-se das referências, pois menciona que o ribossomo se encaixa em uma das extremidades do mRNA, e não próximo a ela: “[...] O ribossomo encaixa-se em uma das extremidades do RNAm e o percorre até a outra extremidade. [...]” (LDA, v. 1, p. 253).

Conforme foi visto anteriormente, segundo a referência, apenas uma das subunidades ribossômicas é que percorre, em eucariontes, o mRNA desde sua extremidade. O ribossomo completo se forma tanto em eucariontes como procariontes, quando o complexo de iniciação atinge o códon de início, o qual não fica exatamente na extremidade do mRNA, já que existe uma sequência não transcrita entre a ponta 5' e o referido códon.

O mesmo distanciamento foi encontrado no LDK (ANEXO H).

Já o LDL distancia-se ao dizer que a tradução se inicia quando o mRNA se liga ao ribossomo, em vez de dizer que as subunidades do ribossomos se unem ao mRNA em momentos diferentes, estando o ribossomo completo somente ao atingir o códon de início do mRNA: “Translation begins when an mRNA molecule in the cytoplasm attaches to a ribosome. As each codon of the mRNA” (LDL, p. 304).

3.2.4.77 A iniciação da tradução depende da associação entre um tRNA especial, o mRNA e o ribossomo

De acordo com a referência, a iniciação do processo de tradução envolve a ligação de um tRNA que transporta metionina com o sítio P do ribossomo (considerando que, na maioria dos casos, o códon de início é o AUG). Porém, esse não se trata de qualquer tRNA para metionina, mas um tRNA<sup>Met</sup> especial para a iniciação, chamado tRNA<sup>Met</sup><sub>i</sub>:

**Translation initiation** The main task of initiation is to place the first aminoacyl tRNA in the P site of the ribosome and, in this way, establish the correct reading frame of the mRNA. In most prokaryotes and eukaryotes, the first amino acid in any newly synthesized polypeptide is methionine, specified by the codon AUG. It is inserted not by tRNA<sup>Met</sup> but by a special tRNA called an initiator, symbolized tRNA<sup>Met</sup><sub>i</sub> (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 336).

Conforme citações mencionadas na seção 3.2.4.63, Griffiths *et al.* (2008b) ainda descrevem que o início da tradução depende da associação entre o tRNA iniciador, o mRNA e a formação do ribossomo completo.

Desse modo, o LDA aproxima-se da referência ao dizer que o início da tradução depende da associação do tRNA especial, do mRNA e do ribossomo: “A síntese de um

polipeptídeo tem início com a associação entre um ribossomo, um RNAm e um RNAt especial, que transporta o aminoácido metionina. [...]” (LDA, v. 1, p. 253-254).

A mesma aproximação foi encontrada no LDJ (ANEXO H).

Já o LDK não menciona que o início da tradução depende da conexão de tais estruturas, mas menciona a união delas ao descrever o processo, aproximando-se, dessa forma, da referência. Porém, o LDK se distancia da referência ao dizer que o tRNA se une aos demais componentes para iniciar a tradução somente após o mRNA estar associado ao ribossomo, enquanto, segundo a referência (ver citações na seção 3.2.4.63), quando isso ocorre, o ribossomo ainda não está completo:

[...] When the mRNA leaves the nucleus, the two parts of the ribosome come together and attach to the mRNA to complete the ribosome. Once the mRNA is associated with the ribosome, a tRNA with the anticodon CAU carrying a methionine will move in and bind to the mRNA with the mRNA start codon AUG on the 5' end of the mRNA. [...] (LDK, p. 340).

Assim como a referência acima mencionada, Alberts *et al.* (2008) também mencionam que o tRNA especial se une ao complexo iniciador antes que o ribossomo esteja completo: “[...] Of all the aminoacyl-tRNAs in the cell, only the methionine-charged initiator tRNA is capable of tightly binding the small ribosome subunit without the complete ribosome being present and it binds directly to the P-site. [...]”(Alberts *et al.*, 2008, p. 380).

3.2.4.78 Para o início da tradução, o tRNA especial liga-se ao sítio P da subunidade ribossômica menor

A referência afirma que há 3 sítios em que os tRNAs podem se ligar: “[...] The binding site for mRNA is completely within the small subunit. There are three binding sites for tRNA molecules. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 334). Dentre esses sítios, os autores mencionam o sítio P:

[...] As we proceed in the 5' direction on the mRNA, the next codon interacts with the anticodon of the tRNA in the P site (for peptidyl) of the 30S subunit. The tRNA in the P site binds the growing peptide chain, part of which fits into a tunnel-like structure in the 50S subunit. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 335).

Posteriormente, mencionam que, a princípio, o tRNA iniciador liga-se ao sítio P do ribossomo para começar a sintetizar a proteína: “[...] The elongation cycle commences with an initiator tRNA (and its attached methionine) in the P site and with the A site ready to accept a ternary complex [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 338).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que o tRNA especial entra no chamado sítio P para iniciar a tradução: “O RNAt especial que inicia a tradução gênica aloja-se em um local do ribossomo sob o qual se encontra o primeiro códon AUG do RNAm. Esse local do ribossomo é chamado sítio P. [...]” (LDA, v. 1, p. 254).

Entretanto o LDA distancia-se da referência ao dizer que a entrada o tRNA especial no sítio P ocorre quando este se encontra sob o códon de iniciação. Conforme citações mencionadas na seção 3.2.4.77, o tRNA é um dos elementos que constitui o complexo de iniciação. De acordo com Griffiths *et al.* (2008, p. 288), pelo menos em eucariontes, a formação desse complexo ocorre na ponta 5’ da molécula de mRNA: “Translation initiation in eukaryotes/ [...] The initiation complex forms at the 5’ end of the mRNA and then scans in the 3’ direction in search of a start codon” [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 337). Portanto, a entrada do tRNA iniciador no sítio P ocorre antes que esse sítio encontre o códon de início. Esse mesmo conhecimento é apresentado por Lodish *et al.* (2007) (ANEXO H).

3.2.4.79 Durante a tradução, o sítio P encontra-se ocupado pelo tRNA que carrega a cadeia polipeptídica em formação

Conforme citação mencionada na seção 3.2.4.78, segundo Griffiths *et al.* (2008b), durante a tradução, o sítio P do ribossomo é sempre ocupado por um tRNA que carrega a cadeia polipeptídica que está sendo sintetizada.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que o sítio P é sempre ocupado, durante o processo de tradução, por um tRNA ligado à cadeia de polipeptídios que está sendo formada “[...] Esse local do ribossomo é chamado **sítio P**. Durante o processo da síntese de proteínas, esse sítio é sempre ocupado pelo RNAt que carrega a cadeia polipeptídica em formação (daí a denominação P, de polipeptídio)” (LDA, v. 1, p. 254).

O LDA, porém, se distancia da referência ao dizer que o nome “P” tem origem no vocábulo *polipeptídico*, enquanto a referência diz que se origina do vocábulo *peptidil*.

Alberts *et al.* (2008) também dizem que “P” vem de peptidil, especificamente, peptidil-tRNA: “[...] Each ribosome has one binding site for mRNA and three binding sites for tRNA: the A-, P-, and E-sites (short for aminoacyl-tRNA, peptidyl-tRNA, and exit, respectively) [...]” (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 375).

3.2.4.80 No sítio A (aminoacil), aloja-se o tRNA que carrega o aminoácido que será incorporado à cadeia polipeptídica em formação

Outro sítio do ribossomo citado pela referência é o sítio A, o qual recebe os tRNAs já conectados aos respectivos aminoácidos e, portanto, chamados de acetil-tRNAs. Com exceção do tRNA especial, cada novo acetil-tRNA que chega para se emparelhar com a trinca do mRNA posiciona-se primeiramente no sítio A. O aminoácido que carrega é o próximo a ser inserido na cadeia polipeptídica que está sendo transcrita. Esse conhecimento pode ser verificado no trecho abaixo, quando os autores descrevem o processo de tradução em procariontes:

[...] The A site (for aminoacyl) binds an incoming aminoacyl-tRNA whose anticodon matches the codon in the A site of the 30S subunit. [...]. (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 335).

[...] Two protein factors called elongation factor Tu (EF-Tu) and elongation factor G (EF-G) assist the elongation process.

As described earlier in this chapter, an aminoacyl-tRNA is formed by the covalent attachment of an amino acid to the 3' end of a tRNA that contains the correct anticodon. Before aminoacyl-tRNAs can be used in protein synthesis, they associate with the protein factor EF-Tu to form a ternary complex composed of tRNA, amino acid, and EF-Tu. The elongation cycle commences with an initiator tRNA (and its attached methionine) in the P site and with the A site ready to accept a ternary complex (see Figure 9-17). Which of the 20 different ternary complexes to accept is determined by codon-anticodon recognition in the decoding center of the small subunit (see Figure 9-13b). When the correct match has been made, the ribosome changes shape, the EF-Tu leaves the ternary complex, and the two aminoacyl ends are juxtaposed in the peptidyltransferase center of the large subunit (see Figure 9-13b). There, a peptide bond is formed with the transfer of the methionine in the P site to the amino acid in the A site. At this point, the second protein factor, EF-G, plays its part. The EF-G factor appears to fit into the A site. Its entry into that site shifts the tRNAs in the A and P sites to the P and E sites, respectively, and the

mRNA moves through the ribosome so that the next codon is positioned in the A site (see Figure 9-17). When EF-G leaves the ribosome, the A site is open to accept the next ternary complex.

In subsequent cycles, the A site is filled with a new ternary complex as the deacylated tRNA leaves the E site (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 338-339).

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que o sítio A recebe os tRNAs ligados ao próximo aminoácido que será inserido na cadeia polipeptídica: “Ao lado do sítio P localiza-se o **sítio A**, assim chamado pelo fato de nele alojar-se o RNAt, que carrega o aminoácido a ser incorporado em seguida na cadeia polipeptídica em formação. [...]” (LDA, v. 1, p. 254).

Apesar de menos específico, o LDL também se aproxima da referência ao dizer que, além do sítio que recebe o tRNA com o aminoácido metionina, há outro sítio, o qual recebe o próximo códon que se emparelhará com o próximo tRNA, ou seja, o sítio A mencionado pela referência:

In the case of the tRNA molecule for methionine, the anticodon bases are UAC, which pair with the methionine codon, AUG. The ribosome has a second binding site for a tRNA molecule for the next codon. If that next codon is UUC, a tRNA molecule with an AAG anticodon would fit against the mRNA molecule held in the ribosome. That second tRNA molecule would bring the amino acid phenylalanine into the ribosome (LDL, p. 305).

3.2.4.81 Assim que o primeiro tRNA se aloja no sítio P do ribossomo, o segundo tRNA aloja-se no sítio A

Conforme citação mencionada na seção 3.2.4.80, segundo a referência, quando o primeiro tRNA se aloja no sítio P, o segundo aloja-se no sítio A. O LDA aproxima-se da referência ao apresentar esse mesmo conhecimento: “Com o primeiro RNAt alojado no sítio P, um segundo RNAt aloja-se no sítio A. [...]” (LDA, v. 1, p. 254).

A mesma aproximação também foi encontrada em LDK (ANEXO H).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que, após o tRNA contendo o primeiro aminoácido se posicionar no códon de início, o segundo passo é a ligação do segundo tRNA com o segundo códon: “In step 2, the polypeptide chain is put together. A tRNA carrying the

appropriate amino acid pairs its anticodon with the second codon in the mRNA” (LDJ, p. 209).

3.2.4.82 O anticódon do RNA transportador inserido no sítio A é complementar ao códon que se encontra sob ele

De acordo com a referência, o anticódon do tRNA que se insere no sítio A é sempre complementar ao códon, como pode ser verificado na citação apresentada na seção 3.2.4.80 e na citação mencionada a seguir: “[...] The decoding center in the 30S subunit ensures that only tRNAs carrying anticodons that match the codon (called cognate tRNAs) will be accepted into the A site. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 335).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que o tRNA que se insere no sítio A terá o anti-códon complementar ao mRNA que está sob ele: “[...] O anticódon desse segundo RNAt será complementar ao segundo códon do RNAm, que está sob o sítio A. [...]” (LDA, v. 1, p. 254).

3.2.4.83 A peptidiltransferase presente no ribossomo realiza o rompimento da ligação entre o aminoácido que estava no sítio P e seu tRNA e sua ligação ao aminoácido presente no tRNA localizado no sítio A

De acordo com a referência, uma das regiões do ribossomo importante no processo de síntese proteica é o centro peptidiltransferase:

Two additional regions in the ribosome are critical for protein synthesis. The decoding center in the 30S subunit ensures that only tRNAs carrying anticodons that match the codon (called cognate tRNAs) will be accepted into the A site. Cognate tRNAs associate with the peptidyltransferase center in the 50S subunit where peptide-bond formation is catalyzed. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 335).

Ao falar sobre essa região, os autores dizem que nela ocorre uma ligação peptídica entre a metionina que estava no tRNA situado no sítio P e aquele aminoácido que se encontra no tRNA localizado no sítio A, conforme citação mencionada na seção 3.2.1.66.

Alberts *et al.* (2008) também dizem que o ribossomo catalisa as ligações peptídicas entre os aminoácidos durante a síntese do polipeptídeo:

Eucaryotic and procaryotic ribosome have similar designs and functions. [...] the large subunit catalyzes the formation of the peptide bonds that link the amino acids together into a polypeptide chain [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 375).

Em outro momento, os autores ainda falam que a peptidiltransferase realiza a liberação da extremidade carboxila da cadeia polipeptídica em formação do tRNA que estava no sítio P e liga-o com o aminoácido que se encontra no sítio A.

[...] the carboxyl end of the polypeptide chain is released from the tRNA at the P-site (by breakage of the high-energy bond between the tRNA and its amino acid) and joined to the free amino group of the amino acid linked to the tRNA at the A-site, forming a new peptide bond. This central reaction of protein synthesis is catalyzed by a peptidyl transferase contained in the large ribosomal subunit. [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 376).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que o ribossomo realiza a liberação do aminoácido presente no sítio P e liga-o com o aminoácido presente no tRNA localizado no sítio A: “Assim que os dois primeiros RNAt se encaixam aos sítios P e A, o ribossomo catalisa a separação da metionina de seu RNAt e sua imediata ligação ao aminoácido transportado pelo segundo RNAt, que ocupa o sítio A” (LDA, v. 1, p. 254).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

#### 3.2.4.84 Durante o processo de tradução, o mRNA vai passando pelo ribossomo

Conforme citação mencionada na seção 3.2.4.80, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), durante a tradução ocorre um deslocamento do mRNA com relação ao ribossomo.

Alberts *et al.* (2008) também apresentam a mesma informação, dizendo que o deslocamento ocorre conforme o ribossomo puxa o mRNA: “[...] The mRNA is then pulled

through the ribosome; as its codons enter the core of the ribosome, the mRNA nucleotide sequence is translated into an amino acid sequence [...]" (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 375).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que o mRNA move-se com relação ao ribossomo: "During step 3, the polypeptide chain continues to grow as the mRNA moves along the ribosome" (LDJ, p. 209).

O LDL apresenta a mesma aproximação (ANEXO H).

Por outro lado, o LDJ menciona, em outro momento, que o ribossomo se move pelo mRNA: "The ribosome then moves a distance of one codon along the mRNA. [...]" (LDJ, p. 209).

O mesmo conhecimento, porém, está presente na referência: "[...] A ribosome passes along the messenger RNA molecule and at each codon, when a complementary tRNA pairs with the codon, the ribosomal machinery transfers the amino acid on the tRNA to the growing polypeptide chain. [...]" (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 8).

Pode-se considerar que definir qual é o agente do movimento é algo relativo. Pode-se concluir que, de todo modo, de acordo com a referência, há um deslocamento entre ambos elementos.

A mesma aproximação também foi encontrada no LDA (ANEXO H).

3.2.4.85 Cada "passo" do deslocamento do mRNA com relação ao ribossomo consiste em uma trinca de bases

Conforme citação mencionada na seção 3.2.1.66, segundo Griffiths *et al.* (2008b), o mRNA vai se deslocando pelo ribossomo de forma que, a cada momento do deslocamento, um novo códon é posicionado no sítio A. Se, de acordo com a referência, cada códon corresponde à uma trinca de nucleotídeos, então pode-se dizer que o deslocamento entre mRNA e ribossomo ocorre de trinca em trinca.

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que o deslocamento entre o mRNA e o ribossomo é realizado de três em três bases: "Assim que os dois primeiros RNAt se encaixam aos sítios P e A, o ribossomo catalisa a separação da metionina de seu RNAt e sua imediata ligação ao aminoácido transportado pelo segundo RNAt, que ocupa o sítio A. Em seguida, o

ribossomo desloca-se sobre a molécula de RNAm, dando um "passo" correspondente a uma trinca de bases.” (LDA, v. 1, p. 254-255).

A mesma aproximação foi encontrada no LDJ (ANEXO H).

3.2.4.86 Durante o processo de tradução, o tRNA complementar ao códon do mRNA move-se para o sítio P

Conforme citações apresentadas nas seções 3.2.4.80 e 3.2.4.84, de acordo com a referência, o sítio A recebe o tRNA que possui o anticódon correspondente ao códon do mRNA nele localizado. Esse tRNA move-se com o códon complementar para o sítio P.

Desse modo, o LDK aproxima-se da referência ao dizer que o sítio P recebe um tRNA complementar o códon do mRNA, mesmo que não mencione que esse tRNA e o códon correspondente tenham passado pelo sítio A primeiramente: “[...] The ribosome structure has a groove, called the P site, where the tRNA that is complementary to the mRNA moves in” (LDK, p. 340).

3.2.4.87 Após sair do sítio P, o tRNA que carregava o primeiro tRNA vai para o sítio E do ribossomo em procariontes, e dirige-se diretamente para o citoplasma em eucariontes

De acordo com Griffiths *et al.* (2008b), o sítio E do ribossomo é aquele que recebe o tRNA desacilado, o qual se encaminhará para o citoplasma:

[...] The E site (for exit) contains a deacylated tRNA (it no longer carries an amino acid) that is ready to be released from the ribosome. [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 335).

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.4.80, os autores ainda dizem que, em procariontes, com a entrada do fator EF-G no sítio A, o tRNA que ali se encontrava vai para o sítio P e aquele que se encontrava no sítio P desloca-se para o sítio de

saída (sítio E de *exit*). Desse modo, o mRNA move-se pelo ribossomo, fazendo com que o próximo códon se posicione no sítio A.

Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) também comentam que, após sair do sítio P, o tRNA vai para o sítio E: “The deacylated tRNA leaves the ribosome via another tRNA-binding site, the E site. This site is transiently occupied by the tRNA *en route* between leaving the P site and being released from the ribosome into cytosol” (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 699).

Entretanto, segundo Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), em eucariontes, o tRNA não passa pelo sítio E, sendo transferido diretamente para o citoplasma: “[...] in bacteria discharged tRNA is transferred from the P site to the E site (from which it is then expelled directly into the cytosol). In eucaryotes it is expelled directly into the cytosol without the presence of an E site (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 684).

O LDK aproxima-se da referência ao mencionar que, após sair do sítio P, o tRNA desloca-se para o sítio de saída: “[...] As the two amino acids join, the tRNA in the P site is released to the third site, called the E site, where it exits the ribosome. [...]” (LDK, p. 340).

Por outro lado, o LDA também se aproxima da referência ao dizer que, após a ligação do primeiro aminoácido com o segundo, o tRNA que transportava a metionina desprende-se do ribossomo:

Assim que os dois primeiros RNAt se encaixam aos sítios P e A, o ribossomo catalisa a separação da metionina de seu RNAt e sua imediata ligação ao aminoácido transportado pelo segundo RNAt, que ocupa o sítio A. Em seguida, o ribossomo desloca-se sobre a molécula de RNAm, dando um "passo" correspondente a uma trinca de bases. Com isso, o RNAt que transportava a metionina desprende-se do RNAm e do ribossomo, e o RNAt que originalmente ocupava o sítio A passa a ocupar o sítio P, carregando agora dois aminoácidos unidos pela ligação peptídica. [...] (LDA, v. 1, p. 254-255).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDL, que também descrevem a saída do tRNA do ribossomo da mesma forma (ANEXO H).

Entretanto, tanto o LDK como os LDA, LDJ e LDL se distanciam da referência ao não especificarem que a passagem do tRNA pelo sítio E ou sua saída diretamente para o citoplasma depende do tipo de organismo em que a tradução está ocorrendo, generalizando a informação apresentada como se ela ocorresse em qualquer tipo de célula.

### 3.2.4.88 O tRNA que ocupava o sítio A passa para o sítio P

Conforme citações apresentadas na seção 3.2.4.80, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), à medida que o fator de alongamento G (EF-G) entra no sítio A, o tRNA que ocupava o sítio A passa para o sítio P.

Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008) apresentam mais detalhes desse processo, mostrando que o fator de alongamento EF-G, em conjunto com a hidrólise da guanina-trifosfato (GTP), desencadeia o deslocamento do ribossomo:

Translocation is an intrinsic property of the ribosome that requires a major change in structure [...]. This intrinsic translocation is activated by EF-G in conjunction with GTP hydrolysis, which occurs before translocation and accelerates the ribosome movement. The most likely mechanism is that GTP hydrolysis causes a change on the structure of EF\_G, wich in turn forces a change in the ribosome structure (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 686).

Em eucariontes, o fator eEF2 desempenha a mesma tarefa da EF-G em eucariontes, também com a hidrólise da GTP: “The eukaryotic counterpart to EF-G is the protein eEF2, wich functions in a similar manner as a translocase dependent on GTP hydrolysis. [...]” (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 686).

Desta forma, imagina-se que o ribossomo se desloca em duas etapas. Primeiramente, move sua subunidade maior e os tRNAs ficam em sítios híbridos, aquele tRNA que se encontrava no sítio A continua no mesmo sítio quanto à subunidade menor, mas devido ao deslocamento da subunidade maior, encontra-se no sítio P desta. O mesmo ocorre com o tRNA que foi descarregado e que estava no sítio P. Este permanece parcialmente ligado ao sítio P na subunidade menor, e no sítio E na subunidade maior. Posteriormente, ocorre a segunda etapa do deslocamento, quando a subunidade menor se desloca e os sítios deixam de ser híbridos; desse modo o tRNA, que se encontrava no sítio A da subunidade menor passa a se encontrar totalmente no sítio P e aquele que estava no sítio P da subunidade menor passa a estar localizado plenamente no sítio E ou, como visto na seção 3.2.4.87, sai para o citoplasma, no caso dos eucariontes:

Most thinking about translocation follows the *hybrid state model*, wich has translocation occurring in two stage. [...]

[...] first the aminoacyl ends of the tRNAs (located in the 50S subunit) move into the new sites) while the anticodon ends remain bound to their anticodons in the 30S subunit). At this stage, the tRNA are effectively bound in hybrid sites, consisting of the 50SE/30S P and the 50SP/30S A sites. Then movement is extended to the 30S subunits, so that the anticodon-codon pairing region finds itself in the right site. The most likely means of creating the hybrid state is by a movement of one ribosomal subunit relative to the other, so that translocation in effect involves two stages, with the normal structure of the ribosome being restored by the second stage (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 684-685).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que, quando o ribossomo se desloca sobre o mRNA, o tRNA que se encontrava no sítio A passa a ocupar o sítio P:

[...] o ribossomo desloca-se sobre a molécula de RNAm, dando um "passo" correspondente a uma trinca de bases. Com isso, o RNAt que transportava a metionina desprende-se do RNAm e do ribossomo, e o RNAt que originalmente ocupava o sítio A passa a ocupar o sítio P, carregando agora dois aminoácidos unidos pela ligação peptídica. [...] (LDA, v. 1, p. 254 - 255).

A mesma aproximação foi encontrada no LDK. Entretanto, diferentemente da referência, esse livro didático menciona que o deslocamento do ribossomo ocorre somente após o deslocamento do tRNA descarregado do sítio P para o sítio E. Pode-se tratar aqui de um outro modelo explicativo para o movimento do ribossomo, o qual talvez poderia ser encontrado em outra referência. Entretanto, o LDK se distancia da referência ao não explicitar que o conhecimento apresentado constitui uma suposição, um modelo.

[...] As the two amino acids join, the tRNA in the P site is released to the third site, called the E site, where it exits the ribosome. The ribosome then moves so the tRNA found in Groove A is shifted to Site P, [...]. Now a new tRNA will enter the A site complementing the next codon on the mRNA. [...] (LDK, p. 340).

3.2.4.89 Conforme o tRNA que estava no sítio A desloca-se para o sítio P, o próximo tRNA encaixa-se ao sítio A

Como se pode verificar na citação mencionada na seção 3.2.4.80, segundo Griffiths *et al.* (2008b), depois que o fator EF-G entra no sítio A e propicia o deslocamento do aminoácido que aí estava para o sítio P, sai do sítio A, ficando esse disponível para a inserção de um novo tRNA.

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que, após o tRNA que estava no sítio A deslocar-se para o sítio P, o sítio A torna-se disponível para o tRNA seguinte: “[...] o RNAt que originalmente ocupava o sítio A passa a ocupar o sítio P, carregando agora dois aminoácidos unidos pela ligação peptídica. O sítio A do ribossomo torna-se disponível para a entrada do próximo RNAt” (LDA, v. 1, p. 255).

A mesma aproximação foi encontrada no LDK (ANEXO H).

3.2.4.90 Conforme ocorre o deslocamento, o processo se repete; novos tRNAs se posicionam nos sítios ribossômicos e a cadeia polipeptídica vai se alongando

Conforme mencionado nas seções anteriores (da seção 3.2.4.80 à seção 3.2.4.89), as referências dizem que o mRNA vai deslocando pelo ribossomo, posicionando o códon seguinte no sítio A, o qual vai recebendo os tRNAs com outros aminoácidos a serem inseridos na nova cadeia polipeptídica. Cada tRNA recebido possui um anticódon complementar à nova trinca que está no centro decodificador. Desse modo, o ciclo continua e um polipeptídeo vai sendo produzido de acordo com a sequência de bases do mRNA.

Griffiths *et al.* (2008) ainda dizem que o processo de tradução envolve ciclos subsequentes, em que, enquanto novos tRNAs vão se encaixando no ribossomo com novos aminoácidos para a cadeia polipeptídica, outros tRNAs vão sendo eliminados. Desse modo, os novos aminoácidos trazidos pelos tRNAs vão sendo agregados à cadeia polipeptídica, a qual vai se alongando:

In subsequent cycles, the A site is filled with a new ternary complex as the deacylated tRNA leaves the E site. As elongation progresses, the number of amino acids on the peptidyl-tRNA (at the P site) increases. [...] [...] The cycle continues until the codon in the A site is one of the three stop codons [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 339).

O LDA aproxima-se da referência ao relatar a repetição do processo e mencionar que isso propicia o alongamento do polipeptídeo sintetizado:

Com o deslocamento do ribossomo, o sítio A passa a se localizar sobre o terceiro códon do RNAm. Este orienta a entrada de um RNAt com anticódon complementar. O ribossomo catalisa a separação do RNAt que ocupava o sítio P e do dipeptídio que ele transportava. Simultaneamente, ocorre a ligação peptídica entre o segundo aminoácido do dipeptídio e o aminoácido recém-chegado, transportado pelo RNAt ocupante do sítio A. Outra vez o ribossomo dá um "passo" correspondente a uma trinca de bases. Com isso, o RNAt sem aminoácidos se solta, e o sítio P passa a ser ocupado pelo terceiro RNAt, que agora transporta um tripeptídio (uma cadeia de três aminoácidos). O sítio A, agora localizado sobre o quarto códon do RNAm, fica disponível para receber o próximo RNAt com seu respectivo aminoácido. Assim, à medida que o ribossomo se desloca sobre o RNAm, a cadeia polipeptídica cresce (LDA, v. 1, p. 255 – 256).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDK (ANEXO H).

3.2.4.91 O mRNA vai sendo traduzido em aminoácido, de forma que cada aminoácido inserido é correspondente ao códon do mRNA

Conforme mencionado na seção anterior (3.2.4.90), de acordo com a referência, no processo de tradução os aminoácidos são inseridos na cadeia polipeptídica de acordo a ordem da sequência de bases presentes no mRNA. Isso ocorre quando o mRNA vai se deslocando pelo centro decodificador, permitindo que cada uma de suas trincas seja correspondida a um novo aminoácido trazido por um tRNA e inserido na cadeia polipeptídica.

Desse modo, o LDA aproxima-se da referência ao dizer que a sequência de bases do mRNA vai sendo traduzida na sequência de aminoácidos da proteína sintetizada: “[...] À medida que esse deslocamento ocorre, os RNAt vão encaixando os aminoácidos na sequência definida pela ordem dos códons do RNA mensageiro. Dessa forma, a informação inscrita na sequência de bases do RNAm vai sendo traduzida como uma sequência de aminoácidos na proteína. [...]” (LDA, v. 1, p. 253).

O LDL também se aproxima da referência ao dizer que os aminoácidos trazidos pelos tRNAs vão sendo encaixados no ribossomo de acordo com a sequência de códons do mRNA: “[...] As each codon of the mRNA molecule moves through the ribosome, the proper amino acids brought into the ribosome by tRNA. [...]” (LDL, p. 304).

3.2.4.92 A cadeia de nucleotídeos em formação move-se de um tRNA para o aminoácido anexo ao tRNA seguinte

Conforme já mencionado na seção anterior (3.2.4.90), segundo a referência, o processo de tradução ocorre com a repetição de um mesmo ciclo e a ligação peptídica do aminoácido que estava no sítio P com aquele que se encontra no sítio A é uma das etapas de cada fase desse ciclo, conforme também já mencionado na seção 3.2.4.83. A referência também menciona que ocorre a ligação entre o polipeptídeo em formação, que está no tRNA localizado no sítio P, e o aminoácido conectado ao tRNA que está sobre o sítio A.

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que, durante a tradução, a cadeia polipeptídica move-se a partir de um tRNA, ligando-se ao próximo aminoácido presente no próximo tRNA. “The growing polypeptide chain moves from one tRNA to the amino acid attached to the next tRNA” (LDJ, p. 209).

3.2.4.93 Cada novo tRNA que ocupa o sítio P carrega um aminoácido a mais na cadeia peptídica

Diante do exposto na seção anterior (3.2.4.92) e da citação mencionada na seção 3.2.4.90, de acordo com Griffiths *et al.* (2008b), conforme os ciclos subsequentes vão ocorrendo, os tRNAs vão passando pelos sítios do ribossomo e o alongamento vai ocorrendo; cada tRNA que passa pelo sítio P carrega a cadeia polipeptídica em síntese com um aminoácido a mais.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que o tRNA que passa a ocupar o sítio P carrega um aminoácido a mais. Esse conhecimento é apresentado quando os autores relatam que o segundo tRNA que vai para o sítio P carrega agora dois aminoácidos em vez de apenas a metionina carregada pelo tRNA anterior: “[...] Com isso, o RNAt que transportava a metionina desprende-se do RNAm e do ribossomo, e o RNAt que originalmente ocupava o sítio A passa a ocupar o sítio P, carregando agora dois aminoácidos unidos pela ligação peptídica. [...]” (LDA, v. 1, p. 255).

3.2.4.94 O final da síntese de um polipeptídeo ocorre quando há o encontro do ribossomo com o códon de parada

Conforme citação mencionada na seção 3.2.4.90, Griffiths *et al.* (2008b) comentam que o término da tradução ocorre quando um códon de parada chega ao sítio A do ribossomo.

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que a tradução termina quando há o encontro entre o ribossomo e um códon de parada: “O último estágio da síntese de um polipeptídeo ocorre quando o ribossomo chega a um códon de parada, ou seja, um dos três códons para os quais não há aminoácido correspondente” (LDA, v. 1, p. 256).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ, LDK e LDL (ANEXO H).

3.2.4.95 Quando o códon de parada chega ao ribossomo, proteínas ocupam o sítio A

De acordo com a referência, proteínas denominadas fatores de liberação reconhecem os códons de parada e encaixam-se no sítio A. Esse conhecimento é mencionado quando os autores comentam sobre os códons de fim:

[...] Recall that no tRNAs recognize these codons. Instead, proteins called release factors (RF1, RF2, and RF3 in bacteria) recognize stop codons [...] The interaction between release factors 1 and 2 and the A site differs from that of the ternary complex in two important ways. First, the stop codons are recognized by tripeptides in the RF proteins, not by an anticodon. Second, release factors fit into the A site of the 30S subunit but do not participate in peptide-bond formation (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 339).

O LDA aproxima-se da referência ao dizer que uma proteína denominada fator de liberação ocupa o sítio A do ribossomo: “[...] Quando isso ocorre, o sítio A do ribossomo é ocupado por uma proteína denominada fator de liberação e todos os participantes do processo se separam, inclusive as duas subunidades do ribossomo, liberando a cadeia polipeptídica formada” (LDA, v. 1, p. 256).

3.2.4.96 Ao final da tradução, todos os componentes participantes do processo se separam e são liberados

De acordo com a referência, quando os fatores de liberação ocupam o sítio A do ribossomo, uma molécula de água entra no local do ribossomo chamado centro peptidiltransferase (local onde a formação ligação peptídica é geralmente catalisada). A entrada dessa molécula faz com que ocorra a liberação do polipeptídeo. Ocorre ainda a separação das subunidades do ribossomo. Os autores apresentam esse conhecimento logo após mencionarem que os fatores de liberação não participam da formação da ligação peptídica:

[...] Instead, a water molecule gets into the peptidyltransferase center, and its presence leads to the release of the polypeptide from the tRNA in the P site. The ribosomal subunits separate, and the 30S subunit is now ready to form a new initiation complex. (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 339).

De acordo com Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), ao terminar a tradução, o tRNA e o mRNA são liberados: “The *post termination reaction* involves release of the tRNA and mRNA and dissociation of the ribosome into its subunits” (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 687).

Conforme citação acima mencionada, na seção 3.2.4.95, o LDA aproxima-se da referência ao dizer que, ao final, ocorre a liberação da cadeia polipeptídica sintetizada.

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDL (citação abaixo e ANEXO H).

O LDJ ainda aproxima-se da referência ao mencionar a liberação do tRNA:

The polypeptide grows one amino acid at a time until step 4. At this step, the ribosome reaches the stop codon. The newly made polypeptide falls off. During step 5, the components of translation come apart. The last tRNA leaves the ribosome, and the ribosome moves away from the mRNA (LDJ, p. 209).

Ainda conforme citações acima mencionadas, outra aproximação encontrada nos LDA e LDJ refere-se ao fato de as subunidades ribossômicas serem liberadas. O mesmo foi verificado no LDK. (ANEXO H).

### 3.2.4.97 Após a liberação, os componentes da maquinaria de tradução podem ser reutilizados

De acordo com a referência, estruturas participantes do processo de tradução, tais como o ribossomo, o mRNA e os tRNAs, podem ser reutilizados em novos processos de tradução:

[...] The ribosome then moves on to the next codon on the mRNA, repeating the transfer process until it reaches a "stop" codon, whereupon it detaches from the mRNA and is ready to be used again. A tRNA molecule that has just been used and no longer has its attached amino acid is then recirculated to be recharged in the cell with the appropriate amino acid so it can be used again [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 8).

O LDJ aproxima-se da referência ao também mencionar que, após o processo de tradução, os elementos que dele participaram podem ser utilizados novamente: “During step 5, the components of translation come apart. The last tRNA leaves the ribosome, and the ribosome moves away from the mRNA. The translation machinery is now free to translate the same or another mRNA” (LDJ, p. 209).

### 3.2.4.98 O produto da tradução é uma cadeia polipeptídica

De acordo com a referência, a cadeia polipeptídica sintetizada no processo de tradução ainda não consiste em uma proteína. É preciso que ocorra o dobramento desse polipeptídeo para que a proteína se forme, o que depende das condições da células e da disponibilidade de várias outras moléculas:

[...] It is important to understand that the primary structure that results from the synthesis, the polypeptide chain, is not the molecule that we call a "protein." A protein is a folded polypeptide chain. A given amino acid sequence, though it constrains the folding process, does not completely determine it. In fact, for any given amino acid sequence, there are several alternative stable foldings. In addition, the cell may make some chemical alterations in the amino acids in the molecule. The final folding that produces a biologically active protein depends on conditions in the

cell that include the presence of a variety of other molecules [...] (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 8).

Já Alberts *et al.* (2008) chamam o polipeptídio produzido de proteína, mas especificam que outros requisitos são necessários para essa molécula se tornar funcional, como o dobramento da molécula:

[...] As it leaves the ribosome, a newly synthesized protein must fold into its proper three-dimensional conformation to be useful to the cell, [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 381)

The process of gene expression is not over when the genetic code has been used to create the sequence of amino acids that constitutes a protein. To be useful to the cell, this new polypeptide chain must fold up into its unique three-dimensional conformation, bind any small-molecule cofactors required for its activity, be appropriately modified by protein kinases or other protein-modifying enzymes, and assemble correctly with the other protein subunits with which it functions (Figure 6-82) [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 387).

O LDA aproxima-se de Griffiths *et al.* (2008b) ao afirmar que: “O último estágio da síntese de um polipeptídio ocorre quando o ribossomo chega a um **códon de parada**, ou seja, um dos três códons para os quais não há aminoácido correspondente” (LDA, v. 1, p. 256).

A mesma aproximação foi encontrada nos LDJ e LDL (ANEXO H).

Já o LDK distancia-se da referência ao dizer que o códon de parada sinaliza o final da síntese proteica: “The ribosome continues to move along until the A site contains a stop codon. The stop codon signals the end of the protein synthesis and does not complement any tRNA. Proteins called release factors cause the mRNA to be released from the last tRNA and the ribosome subunits to disassemble, ending protein synthesis” (LDK, p. 340).

3.2.4.99 Sendo a sequência de nucleotídeos do mRNA determinada pela sequência de nucleotídeos do DNA, este último é capaz também de determinar a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica produzida

Em suma, como verificado até agora, de acordo com as referências, o DNA possui informação para especificar os produtos gênicos do organismo. Essas informações estão inseridas na sequência do DNA e, para serem usadas, têm que ser copiadas em uma molécula

de RNA, através do processo de transcrição. Posteriormente essas informações copiadas na molécula de RNA são traduzidas em aminoácidos formadores de um polipeptídios que poderá ser transformado em uma proteína.

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que a sequência de nucleotídeos do DNA é responsável por determinar a sequência de aminoácidos das proteínas sintetizadas, uma vez que é responsável pela sequência de nucleotídeos da molécula de mRNA que será traduzida na sequência de aminoácidos utilizada na a síntese proteica:

O processo de síntese das proteínas é rigorosamente ordenado, o que garante que os tipos e a sequência de aminoácidos de uma cadeia polipeptídica sejam determinados, com precisão, pela sequência de códons do RNAm. Como este, por sua vez, é produzido pela transcrição exata de uma das cadeias de DNA, concluímos que a sequência e os tipos de aminoácidos em uma proteína são determinados pela sequência de bases do DNA, ou seja, pelos genes (LDA, v. 1, p. 256).

A mesma aproximação foi encontrada no LDL (ANEXO H).

3.2.4.100 Vários ribossomos podem se encaixar sucessivamente ao mesmo mRNA, traduzindo-o simultaneamente

De acordo com a referênci,a vários ribossomos podem se encaixar na mesma molécula de mRNA, realizando ao mesmo tempo a tradução dessa molécula: “[...] There are many ribosomes moving along a given molecule of mRNA and very large numbers of tRNA molecules of each kind, and so the entire process of building up the polypeptide moves on quite rapidly. A more detailed explanation of this entire process is given in Chapters 8 and 9. [...]” (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 8).

O LDA aproxima-se da referência ao também dizer que vários ribossomos podem traduzir simultaneamente a mesma molécula de mRNA:

À medida que um ribossomo se desloca sobre um RNAm, traduzindo sua mensagem na forma de uma cadeia polipeptídica, outro ribossomo pode também iniciar a tradução do mesmo RNAm. Assim, vários ribossomos podem se encaixar sucessivamente no início de um RNAm, percorrendo-o e saindo na extremidade oposta, todos sintetizando o mesmo tipo de cadeia polipeptídica (LDA, v. 1, p. 256).

A mesma aproximação foi verificada no LDJ (ANEXO H).

3.2.4.101 O conjunto formado por vários ribossomos traduzindo o mesmo mRNA é chamado de polirribossomo ou polissomo

De acordo com Alberts *et al.* (2008), denominam-se polirribossomos as moléculas de mRNA que são traduzidas ao mesmo tempo por vários ribossomos:

The synthesis of most protein molecules takes between 20 seconds and several minutes. During this very short period, however, it is usual for multiple initiations to take place on each mRNA molecule being translated. As soon as the preceding ribosome has translated enough of the nucleotide sequence to move out of the way, the 5' end of the mRNA is threaded into a new ribosome. The mRNA molecules being translated are therefore usually found in the form of polyribosomes (or polysomes): large cytoplasmic assemblies made up of several ribosomes spaced as close as 80 nucleotides apart along a single mRNA molecule [...] (ALBERTS *et al.*, 2008, p. 381-382).

O LDA aproxima-se da referência ao também mencionar que um conjunto de ribossomos traduzindo um mesmo mRNA é denominado polirribossomo: “[...] O conjunto formado por vários ribossomos traduzindo um mesmo RNAm é chamado de **polirribossomo**, ou **polissomo**” (LDA, v. 1, p. 256).

3.2.4.102 Em procariontes, a tradução de um mRNA pode começar antes que sua transcrição tenha terminado

Conforme se pode observar na citação da seção 3.2.1.47, de acordo com Krebs, Goldstein e Kilpatrick (2008), em procariontes a tradução pode ocorrer simultaneamente com a transcrição.

O LDJ aproxima-se da referência ao mencionar que a tradução pode ocorrer ao mesmo tempo em que a transcrição nos procariontes: “In fact prokaryotes lack a nuclear envelope

separating their DNA from ribosomes in the cytosol, thus translation can begin on an mRNA even before transcription of the mRNA has finished” (LDJ, p. 210).

#### 3.2.4.103 Em eucariontes, a tradução começa apenas após o término da transcrição

Como a referência afirma que, nos eucariontes, a transcrição e a tradução ocorrem em compartimentos celulares diferentes, para um mRNA ser traduzido, é necessário que sua síntese seja realizada anteriormente no núcleo e que, depois, ele seja transportado para o citoplasma:

[...] A significant difference between eukaryotes and prokaryotes is the presence of a nucleus in eukaryotes. In prokaryotes, the information in RNA is almost immediately translated into an amino acid chain (polypeptide), [...]. In eukaryotes, transcription and translation are spatially separated - transcription takes place in the nucleus and translation in the cytoplasm [...]. In eukaryotes, RNA is synthesized in the nucleus where the DNA is located and exported out of the nucleus into the cytoplasm for translation (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, p. 305).

O LDJ aproxima-se da referência ao dizer que a tradução ocorre somente após o término da transcrição, no caso dos eucariontes: “[...] In eukaryotes, translation of an mRNA occurs only after transcription is finished” (LDJ, p. 210).

### 3.2.5 Categorias de distanciamentos encontradas e suas implicações<sup>57</sup>

Os distanciamentos encontrados estão resumidos nas Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13, onde foram classificados.

---

<sup>57</sup>Conforme já apresentado, as categorias de distanciamentos e categorias de implicações foram definidas nas páginas 194 e 195.

Tabela 11 - Distanciamentos referentes ao conteúdo Divisão celular/Meiose encontrados entre os livros didáticos de Ensino Médio brasileiros e estadunidenses analisados e a referência ((l)= localizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de tipo de distanciamento encontradas; TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DDP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de implicações do distanciamento; f = facilitadores para o conhecimento; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais; ecg = entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais)

Seção do conteúdo	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	Local de publicação da Coleção ou Livro		Categorias	
			Brasil	EUA	Cat <sub>i</sub>	Cat <sub>i</sub>
			Distanciamento			
3.2.1.12	Os centrômeros não se <i>dividem</i> durante a primeira divisão da meiose	Os centrômeros não se <i>duplicam</i> durante a primeira divisão da meiose	LDC	-	DDP	ep
3.2.1.28	<i>Nas células animais</i> , no início da divisão celular, os centrômeros separam-se juntamente com seus centríolos	No início da divisão celular, os centríolos dirigem-se para polos opostos	LDC	LDK	GO	ep
3.2.1.33	Na primeira divisão da meiose, os <i>homólogos</i> encontram-se aos pares ao estarem dispostos no equador da célula	Na primeira divisão da meiose, os <i>bivalentes</i> encontram-se aos pares ao estarem dispostos no equador da célula	LDB	-	DC	ec
3.2.1.43	<i>Em alguns organismos</i> , os cromossomos homólogos descondensam-se ao atingirem os polos opostos, durante a primeira divisão da meiose	Os cromossomos homólogos descondensam-se ao atingirem os polos opostos, durante a primeira divisão da meiose	LDA LDB LDC	-	GO	ep
3.2.1.44	<i>Em muitos organismos</i> , ao final da primeira divisão da meiose, <i>não ocorre</i> a reconstituição da membrana nuclear	Ao final da primeira divisão da meiose, ocorre a reconstituição da membrana nuclear	LDB LDC	-	GO	ep
3.2.1.51	Cromossomos homólogos que migram para os polos opostos e formam novas células, durante a primeira divisão da meiose, <i>podem não ser idênticos</i>	Cromossomos homólogos que migram para os polos opostos da célula, durante a primeira divisão da meiose, <i>são idênticos</i>	LDB	-	GO	ec
3.2.1.52	Entre a primeira e a segunda divisão da meiose <i>pode</i> ocorrer uma intérfase	Entre a primeira e a segunda divisão da meiose <i>ocorre</i> uma intérfase	LDB	-	GO	ep
3.2.1.61	Após as cromátides estarem dispostas no equador da célula, os centrômeros <i>dividem-se</i>	Após as cromátides estarem dispostas no equador da célula, os centrômeros <i>duplicam-se</i>	LDC	-	DDP	ep

Tabela 12 - Distanciamentos referentes ao conteúdo Padrões de Herança encontrados entre os livros didáticos de Ensino Médio brasileiros e estadunidenses analisados e a referência ((l)= localizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de tipo de distanciamento encontradas; TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DDP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de implicações do distanciamento; f = facilitadores para o conhecimento; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais; ecg = entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais)

Distanciamento							
Seção do conteúdo	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	Local de publicação da Coleção ou Livro		Categorias		
			Brasil	EUA	Cat <sub>i</sub>	Cat <sub>i</sub>	
3.2.2.1	A linhagem pura é aquela que, quando cruzada consigo mesma, produz indivíduos <i>iguais quanto ao fenótipo em questão</i>	A linhagem pura é aquela que, quando cruzada consigo mesma, produz <i>indivíduos iguais a si</i>	LDA	LDL	GO	ec	
3.2.2.8	Os fatores mendelianos são o que hoje denominamos de <i>gene</i>	Os fatores mendelianos são o que hoje denominamos de <i>alelos</i>	LDC	LDJ LDK	CNA	ep	
3.2.2.9	Um par de <i>genes</i> é necessário para a determinação de uma característica	Um par de <i>genes alelos</i> é necessário para a determinação de uma característica	LDB	-	TE	m	
3.2.3.15	A segregação independente pode ocorrer em genes localizados no mesmo cromossomo, se houver uma longa distância entre eles	A segregação independente ocorre apenas em pares de genes localizados em diferentes pares de cromossomos.	LDA LDC	-	DC	m	

Tabela 13 - Distanciamentos referentes ao conteúdo Expressão Gênica (Síntese proteica) encontrados entre os livros didáticos de Ensino Médio brasileiros e estadunidenses analisados e a referência ((l)= localizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de tipo de distanciamento encontradas; TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DDP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de implicações do distanciamento; f = facilitadores para o conhecimento; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais; ecg = entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais)

Distanciamento		Local de publicação da Coleção ou Livro		Categorias		
Seção do conteúdo	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	Brasil	EUA	Cat <sub>i</sub>	Cat <sub>i</sub>
3.2.4.10	A <i>correspondência</i> entre a sequência de nucleotídeos e os aminoácidos é que determina o código genético	A <i>sequência de nucleotídeos da molécula</i> determina o código genético	LDB	-	DC	ep
3.2.4.22	Um gene ou um cístron pode produzir <i>um ou mais</i> tipos de polipeptídios	Cada gene é responsável pela produção de <i>um</i> polipeptídio	LDC	LDK	DC	ec
3.2.4.23	A expressão gênica pode ter como produto final um RNA funcional ou uma proteína	A expressão gênica é a expressão do DNA para RNA para proteína	-	LDK LDL	GO	ec
3.2.4.30	A síntese de RNA ocorre no nucleóide, <i>no caso dos procariontes</i>	A síntese de RNA ocorre no núcleo	-	LDK LDL	GO	ep
3.2.4.56	O ribossomo completo é formado aos poucos sob a molécula de mRNA	Ao ser transcrita, a molécula de mRNA migra para o ribossomo	-	LDK	DDP	ep
3.2.4.56	<i>Em eucariontes</i> , há a migração do RNA sintetizado do núcleo para o citoplasma	O RNA sintetizado <i>migra</i> para o citoplasma	-	LDL	GO	ep
3.2.4.58	Os RNAs mensageiros são cópias de <i>partes</i> de genes	Os RNAs mensageiros <i>são cópias</i> dos genes	LDB	LDL	DC	ep

Continua. Tabela 13 - Distanciamentos referentes ao conteúdo Expressão Gênica (Síntese proteica) encontrados entre os livros didáticos de Ensino Médio brasileiros e estadunidenses analisados e a referência ( (l)= localizado; Cat<sub>t</sub> = Categorias de tipo de distanciamento encontradas; TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DDP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de implicações do distanciamento; f = facilitadores para o conhecimento; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais; ecg = entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais)

Seção do conteúdo	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	Local de publicação da Coleção ou Livro		Categorias	
			Brasil	EUA	Cat <sub>t</sub>	Cat <sub>i</sub>
			Distanciamento			
3.2.4.60	O códon AUG é, <i>na maior parte da vezes</i> , o códon de início	O códon AUG é o códon de início	LDA	LDJ LDK LDL	GO	ep
3.2.4.62	O mRNA começa a ser traduzido a partir do códon de início	O mRNA começa a ser traduzido a partir de sua ponta 5'	-	LDK	GO	ep
3.2.4.63	O sítio de iniciação da tradução localiza-se <i>próximo</i> à extremidade 5' do mRNA	O sítio de iniciação da tradução localiza-se <i>no início</i> do mRNA	-	LDK	GO	ep
3.2.4.67	A ponta 3' do tRNA é o seu sítio de ligação do <i>aminoácido codificado</i>	O tRNA possui <i>uma região</i> própria para cada <i>aminoácido</i>	LDB	-	DC	ep
3.2.4.68	A ligação entre um aminoácido e um tRNA é realizada por uma enzima	O tRNA captura os aminoácidos	LDB	-	GO	ep

Continua. Tabela 13 - Distanciamentos referentes ao conteúdo Expressão Gênica (Síntese proteica) encontrados entre os livros didáticos de Ensino Médio brasileiros e estadunidenses analisados e a referência (l) = localizado; Cat<sub>t</sub> = Categorias de tipo de distanciamento encontradas; TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DDP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de implicações do distanciamento; f = facilitadores para o conhecimento; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais; ecg = entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais)

Distanciamento						
Seção do conteúdo	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	Local de publicação da Coleção ou Livro		Categorias	
			Brasil	EUA	Cat <sub>t</sub>	Cat <sub>i</sub>
3.2.4.69	O anticódon <i>pode</i> determinar qual será o aminoácido a ser ligado ao tRNA. Entretanto, dependendo da sintetase, outros mecanismos podem ser determinantes	O que dá a especificidade do tRNA ao aminoácido é o anticódon	LDB	LDJ	GO	ep
3.2.4.72	O anticódon do tRNA pode parear-se com o mRNA complementar, mas há pareamentos onde nem todas as bases do anticódon são complementares ao do códon	O anticódon pareia-se a códon complementar do mRNA	LDB	LDJ LDK LDL	GO	ep
3.2.4.74	O tRNA atua como um adaptador	O tRNA atua como um intérprete		LDK	MT	m
3.2.4.76	O ribossomo completo é formado no sítio de iniciação	O ribossomo se encaixa em uma das extremidades do mRNA	LDA	LDK	DDP	ep
3.2.4.76	As partes do ribossomo ligam-se ao mRNA separadamente, até que a molécula completa se forme no sítio de ligação, onde se inicia a tradução	O mRNA encaixa-se no ribossomo e inicia-se tradução	-	LDL	DDP	ep

Continuação. Tabela 13 - Distanciamentos referentes ao conteúdo Expressão Gênica (Síntese proteica) encontrados entre os livros didáticos de Ensino Médio brasileiros e estadunidenses analisados e a referência ((I)= localizado; Cat<sub>t</sub> = Categorias de tipo de distanciamento encontradas; TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DDP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de implicações do distanciamento; f = facilitadores para o conhecimento; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais; ecg = entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais)

Distanciamento						
Seção do conteúdo	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	Local de publicação da Coleção ou Livro		Categorias	
			Brasil	EUA	Cat <sub>t</sub>	Cat <sub>i</sub>
3.2.4.77	O tRNA liga-se ao mRNA para iniciar a tradução quando o ribossomo ainda não está completo	O tRNA liga-se ao mRNA para iniciar a tradução quando o ribossomo já está associado ao mRNA	-	LDK	DDP	ep
3.2.4.78	Em eucariontes, o alojamento do tRNA iniciador no sítio P ocorre <i>antes</i> de esse sítio encontrar o códon de início da tradução	O alojamento do tRNA iniciador no sítio P ocorre <i>quando</i> esse sítio encontra o códon de início da tradução	LDA	-	DDP	ep
3.2.4.79	O sítio P tem seu nome derivado de peptidil	O sítio P tem seu nome derivado de polipeptídio	LDA	-	TE	ep
3.2.4.87	O tRNA <i>passa pelo sítio E</i> do ribossomo durante a tradução <i>em procariontes</i> . Em eucariontes, o tRNA vai diretamente para o citoplasma.	O tRNA <i>passa pelo sítio E</i> do ribossomo durante a tradução.	-	LDK	GO	ep
3.2.4.87	O tRNA <i>passa pelo sítio E</i> do ribossomo durante a tradução <i>em procariontes</i> . Em eucariontes, o tRNA vai diretamente para o citoplasma.	O tRNA <i>deixa o ribossomo</i> ao sair do sítio P durante a tradução.	LDA	LDJ LDL	GO	ep

Conclusão. Tabela 13 - Distanciamentos referentes ao conteúdo Expressão Gênica (Síntese proteica) encontrados entre os livros didáticos de Ensino Médio brasileiros e estadunidenses analisados e a referência ((l)= localizado; Cat<sub>t</sub> = Categorias de tipo de distanciamento encontradas; TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DDP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado; Cat<sub>i</sub> = Categorias de implicações do distanciamento; f = facilitadores para o conhecimento; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais; ecg = entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais)

Distanciamento						
Seção do conteúdo	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	Local de publicação da Coleção ou Livro		Categorias	
			Brasil	EUA	Cat <sub>t</sub>	Cat <sub>i</sub>
3.2.4.88	De acordo com modelo proposto, o deslocamento dos tRNAs entre os sítios ribossômicos ocorre com o deslocamento do ribossomo	O descolamento do ribossomo sobre o tRNA ocorre <i>após</i> a saída do tRNA descarregado do sítio P	-	LDK	DDP	ep
3.2.4.98	Após a tradução, há ainda outros procedimentos necessários para o término da produção de uma proteína	O códon de parada sinaliza o final da síntese proteica	-	LDK	DDP	ep

### 3.2.6 Resultados da validação da *amostra selecionada*

Como mencionado nas seções 3.1.2 e 3.1.2.3, páginas 189 e 191, esta pesquisa realizou uma validação da *amostra selecionada*, verificando como os dados desta se comportavam com relação aos dados da *amostra geral* (segundo metodologia descrita na seção 3.1.6, página 212).

Na Tabela 14, é possível verificar que as frequências de livros que possui cada distanciamento encontrado na *amostra selecionada* são similares ou próximas àquelas encontradas na *amostra geral*.

Tabela 14 - Frequências de livros com cada distanciamento encontrado na análise realizada com a *amostra geral* para a validação da *amostra selecionada* (Cont. = conteúdos; Dist = distanciamentos (temporariamente identificados pelo número da seção em que cada qual é tratado no texto da tese); Fs = frequência relativa de distanciamentos da *amostra selecionada*; Fg = frequência relativa de distanciamentos da *amostra geral*; os distanciamentos referidos estão relacionados no APÊNDICE P)

	Cont	Dist.	Livros													Fs	Fg	
			LDA	LDB	LDC	LDD	LDE	LDF	LDG	LDH	LDI	LDJ	LDK	LDL	LDM			
Meiose	3.2.1.33			x												0,16	0,08	
	3.2.1.43		x	x	x			x	x	x						0,46	0,46	
	3.2.1.51			x												0,16	0,08	
Leis de Mendel	3.2.2.1		x				x							x		0,33	0,23	
	3.2.2.8				x		x				x	x				0,46	0,31	
Expressão Gênica	3.2.3.15		x		x	x	x	x	x	x						0,33	0,54	
	3.2.4.22				x							x				0,33	0,23	
	3.2.4.23										x	x				0,33	0,30	
	3.2.4.60		x				x	x	x		x			x	x	x	0,67	0,69

Distanciamentos classificados na categoria *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* (ec)

Distanciamentos classificados em outras categorias

Livros incluídos na *amostra selecionada*

No ANEXO I, podem-se encontrar os trechos dos textos dos livros analisados que ilustram os distanciamentos e aproximações encontrados.

O Gráfico 3 - Gráfico de dispersão mostrando a distribuição dos pares  $(x_i, y_i)$  das duas variáveis frequência relativa de distanciamentos da *amostra selecionada* (Fs) e frequência relativa de distanciamentos da *amostra geral* (Fg) apresenta a distribuição das duas variáveis comparadas (frequência relativa de distanciamentos da *amostra selecionada* (Fs) e a frequência de distanciamentos da *amostra geral* (Fg)). Neste gráfico, nota-se uma tendência linear e crescente (positiva).

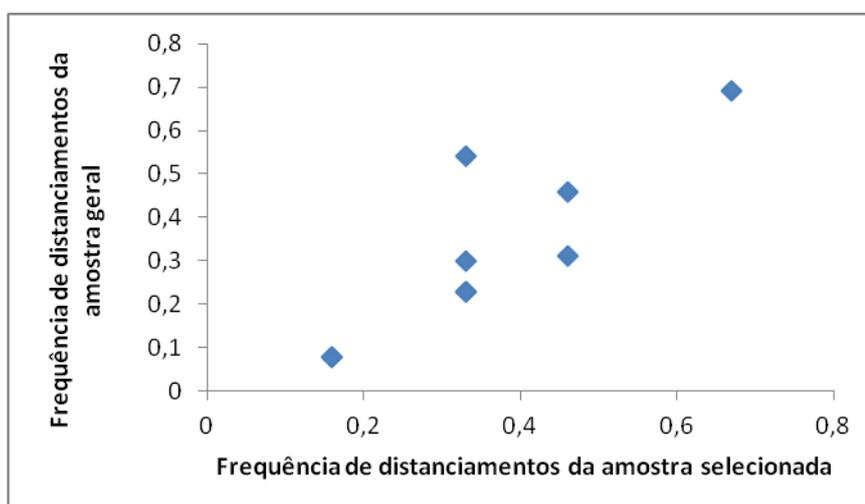


Gráfico 3 - Gráfico de dispersão mostrando a distribuição dos pares  $(x_i, y_i)$  das duas variáveis frequência relativa de distanciamentos da *amostra selecionada* (Fs) e frequência relativa de distanciamentos da *amostra geral* (Fg)

Para o teste de normalidade Shapiro-Wilk, obteve-se  $p=0,545$  para a variável  $(Y=Fg)$ , mostrando um comportamento de uma distribuição normal.

Como mencionado na seção 3.1.6, página 212, diante da tendência linear e crescente obtida no gráfico de dispersão e do comportamento de uma distribuição normal de Fg, optou-se por utilizar o coeficiente de correlação linear de Pearson para encontrar um valor que quantifique a relação entre Fs e Fg.

O coeficiente de correlação das variáveis Fs e Fg foi de  $R=0,861$  para  $n=9$  elementos (nove distanciamentos analisados), com um nível descritivo de  $p=0,003$ . Usualmente, considera-se que o valor  $R=0,861$  é alto, indicando uma relação forte e positiva entre Fs e Fg,

ou seja, quanto maior  $F_s$ , maior será  $F_g$ , e essa relação foi estatisticamente significativa ( $p < 5\%$ ), supondo um nível de significância de 5% ( $\alpha$ ).

Utilizando-se o método de mínimos quadrados, obteve-se um modelo estimado para representar as duas variáveis, onde:  $Y = F_g$  e  $X = F_s$ :

$$\hat{y} = 1,1175 x - 0,077$$

A reta estimada é apresentada no Gráfico 4. Como essa reta passa entre os pontos, pode ser considerada uma boa representação dos dados das duas variáveis, indicando que, ao aumentar a  $F_s$ , aumenta-se a  $F_g$ . O coeficiente de explicação ( $R^2$ ) mostra que a variável  $F_s$  explica a variabilidade da variável  $F_g$  em torno de 74%, o que é considerado um valor razoável, se adotado que quanto mais próximo de 100% estiver o coeficiente de explicação, melhor é a explicação da variável independente quanto à variabilidade do desfecho (TRIOLA, 2008).

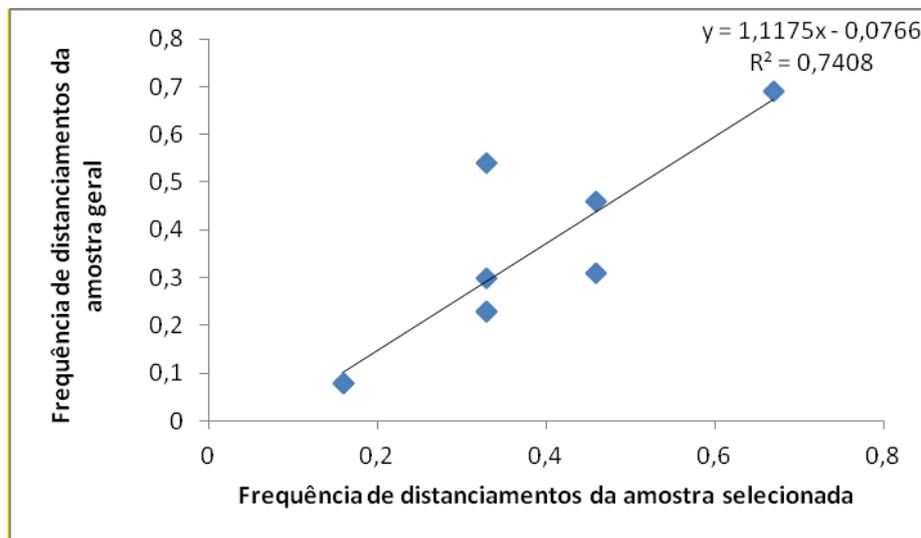


Gráfico 4 - Gráfico de dispersão mostrando a distribuição dos pares  $(x_i, y_i)$  das duas variáveis frequência relativa de distanciamentos da *amostra selecionada* ( $F_s$ ) e frequência relativa de distanciamentos da *amostra geral* ( $F_g$ ), e a reta estimada que representa a relação entre ambas

O modelo se mostrou estatisticamente significativo ( $p=0,003$ ) e, sendo o coeficiente angular (1,1175) positivo, há uma indicação de relação entre as duas variáveis; além disso, pode-se dizer que, para cada uma unidade de  $F_s$ , ou para cada um aumento de  $F_s$ ,  $F_g$  aumenta em 1,12.

Desse modo, há uma relação estatisticamente significativa e positiva entre os dados das duas amostras, apresentando frequências relativas muito próximas em seus resultados, o que favorece a validação da *amostra selecionada*.

### 3.2.7 Análise quantitativa dos distanciamentos encontrados

Conforme é possível verificar na Tabela 15 e no

Gráfico 5, a frequência relativa de distanciamentos com relação ao número total de ocorrências dos conteúdos analisados corresponde a 0,08, sendo que, entre os livros da amostra, varia de 0,04 no caso de LDJ a 0,13 no caso de LDK. Em números absolutos, foram encontrados no mínimo cinco e no máximo 16 distanciamentos, em cada livro, dentre os conteúdos analisados.

Tabela 15 - Frequência relativa de distanciamentos por livro com relação ao número total de ocorrências de todos os conhecimentos analisados

	Livros						Total
	LDA	LDB	LDC	LDJ	LDK	LDL	
Número de ocorrências do conteúdo	146	90	90	138	127	106	697
Número de ocorrências dos distanciamentos	9	11	8	5	16	9	56
Frequência de distanciamento	0,06	0,12	0,09	0,04	0,13	0,08	0,08

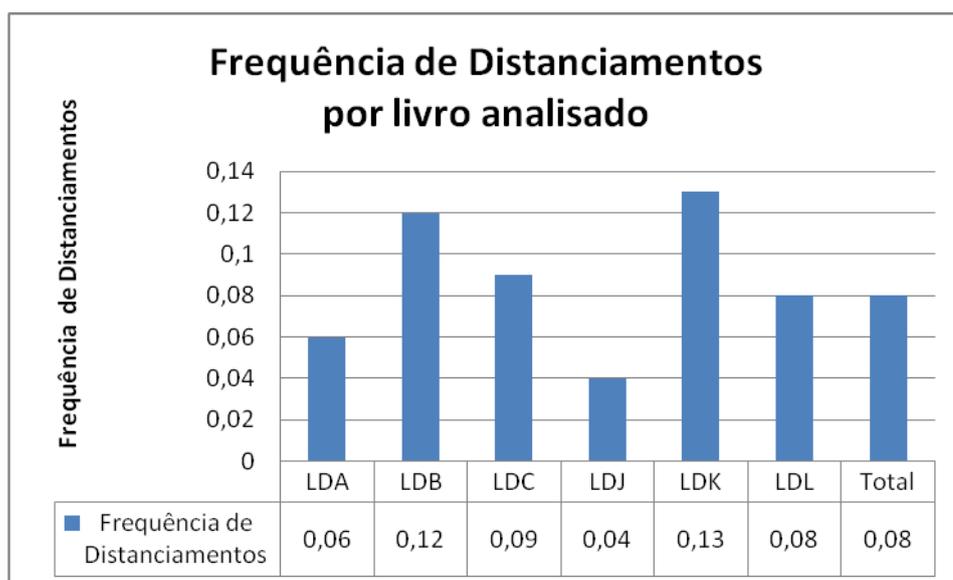


Gráfico 5 - Frequência relativa de distanciamentos por livro com relação ao número total de ocorrências de todos os conhecimentos analisados

Ao considerar a frequência relativa de distanciamentos quanto à localidade de proveniência dos materiais, verifica-se, na Tabela 16, que a frequência de distanciamentos do conjunto de livros da amostra brasileira (0,081) é próxima à da amostra estadunidense (0,83).

Tabela 16 - Frequência relativa de distanciamentos no conjunto da amostra de livros de cada localidade com relação ao número total ocorrência de todos os conhecimentos analisados

Valores			
Localidades	Número de ocorrência dos conteúdos	Número de distanciamentos	Frequência de distanciamentos
Brasil	322	26	0,081
EUA	375	32	0,083
Total	701	58	0,085

Conforme a Tabela 17 e o Gráfico 6, verifica-se que houve uma frequência relativa maior de distanciamentos no conteúdo Síntese Proteica (0,12), seguido de Leis de Mendel (0,06) e Divisão Celular (0,04). Entretanto, em números absolutos, encontraram-se 39 distanciamentos para Síntese Proteica, 11 para Divisão Celular e 8 para Leis de Mendel.

Tabela 17 - Frequência relativa de distanciamentos por conteúdo com relação ao número total de ocorrências de todos os conhecimentos analisados

Conteúdos	Número de conteúdos	Número de Distanciamentos	Frequência de Distanciamentos
Divisão Celular	248	11	0,04
Leis de Mendel	129	8	0,06
Síntese Proteica	320	39	0,12
Total	701	58	0,08

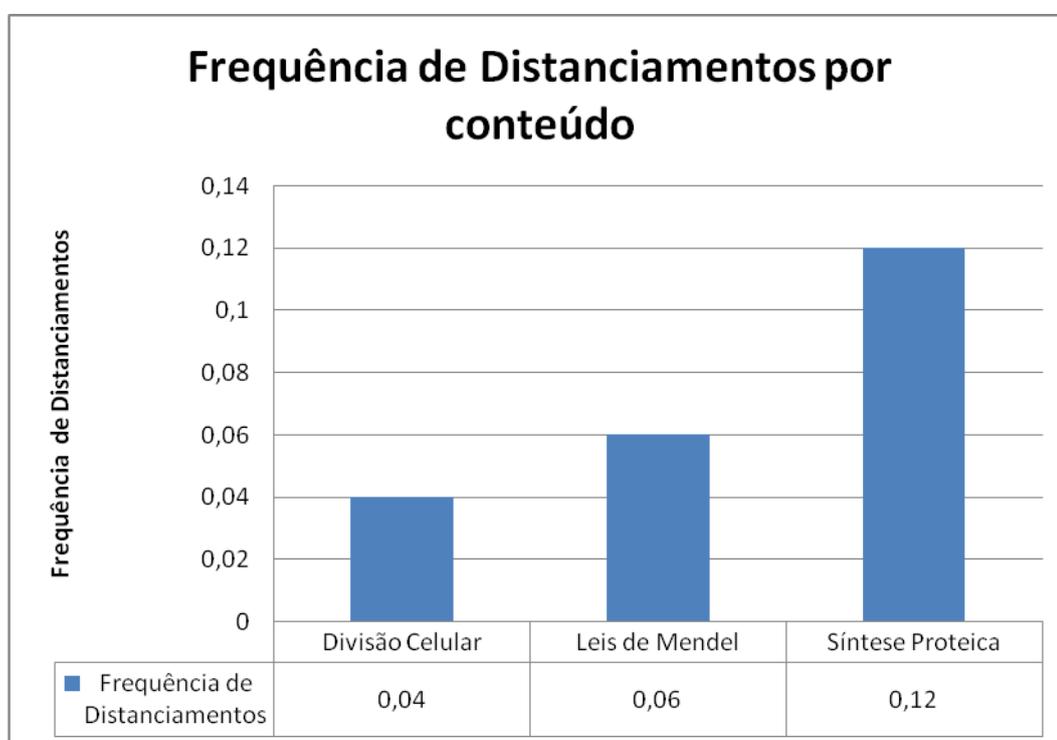


Gráfico 6 - Frequência relativa de distanciamentos por conteúdo com relação ao número total de ocorrências de todos os conhecimentos analisados

Quanto ao tipo de distanciamento, pode-se verificar, no Gráfico 7, que a maioria (59%) dos distanciamentos são do tipo *generalização da ocorrência*, ou seja, na maioria das vezes, o autor apresenta uma informação sem especificar que ela ocorre somente em determinada circunstância. Desse modo, toma uma ocorrência particular como se ela fosse geral.

O Gráfico 7 ainda mostra que o *distanciamento na descrição do processo* é o segundo tipo mais comum (19%), seguido do *distanciamento conceitual* (12%).

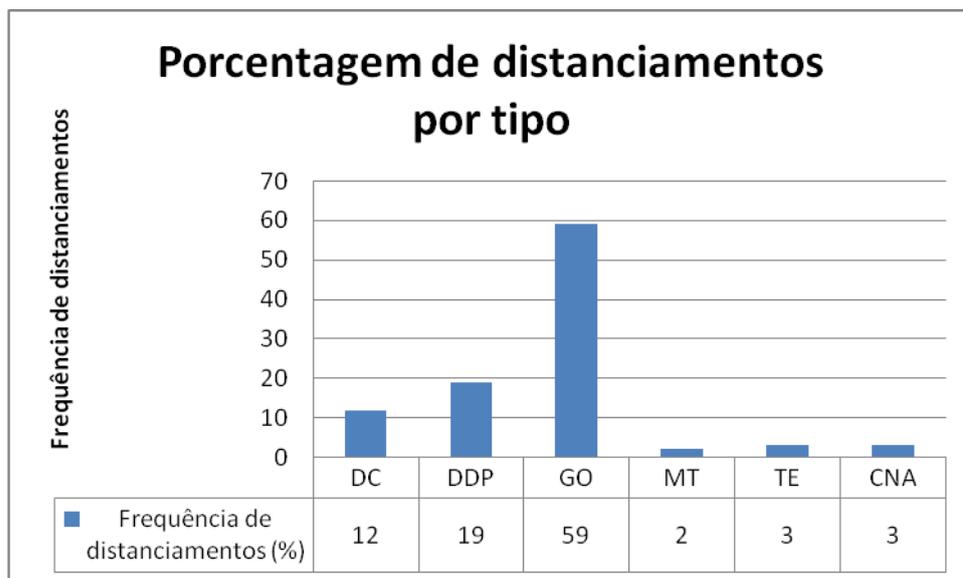


Gráfico 7 - Porcentagem de distanciamentos de cada tipo com relação ao número total de distanciamentos identificados (TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DPP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da Ocorrência; CNA = Conteúdo não atualizado)<sup>58</sup>

Como é possível verificar no Gráfico 8, em todos os conteúdos analisados, a *generalização da ocorrência* foi o tipo de distanciamento mais encontrado.

---

<sup>58</sup> Conforme mencionado, as categorias de distanciamentos e categorias de implicações foram definidas nas páginas 194 e 195.

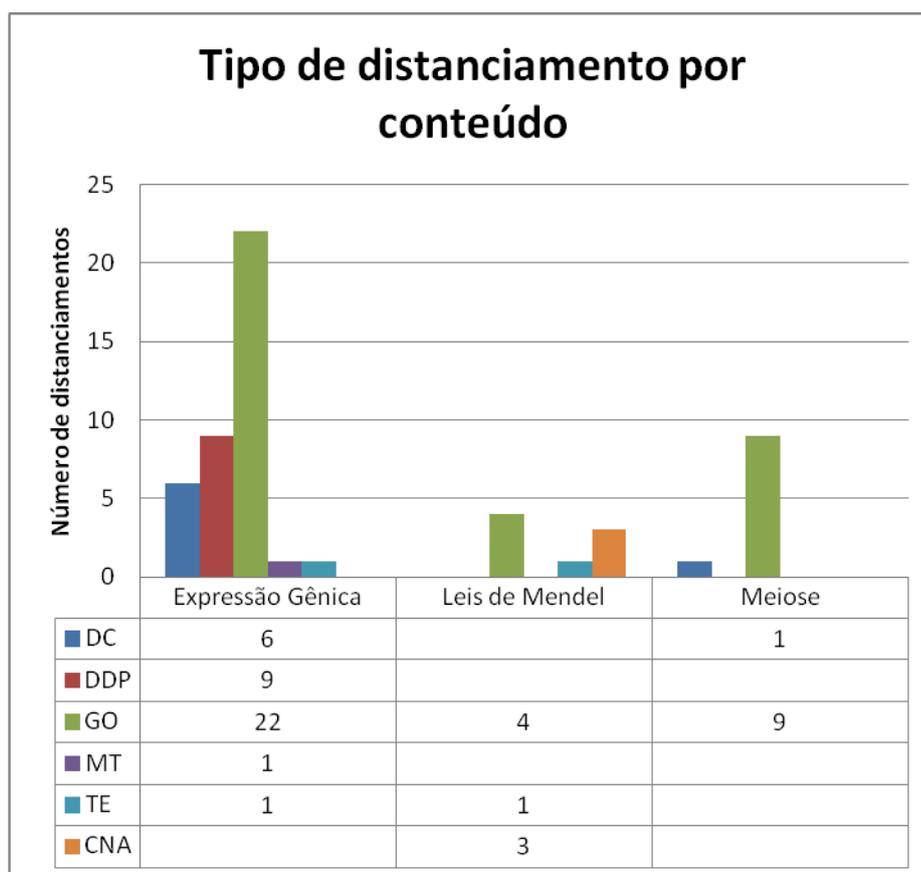


Gráfico 8 - Número total de distanciamentos de cada tipo por conteúdo analisado (TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DPP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da ocorrência CNA = Conteúdo não atualizado)

Já no Gráfico 9 nota-se que a maioria (80%) dos distanciamentos foram classificados quanto à sua implicação como *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais*.

No mesmo gráfico, observa-se que a maioria dos distanciamentos da categoria *generalização da ocorrência* (80%) e *distanciamento na descrição do processo* (100%) também foram classificados, quanto à sua categoria de implicação, como *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais*.

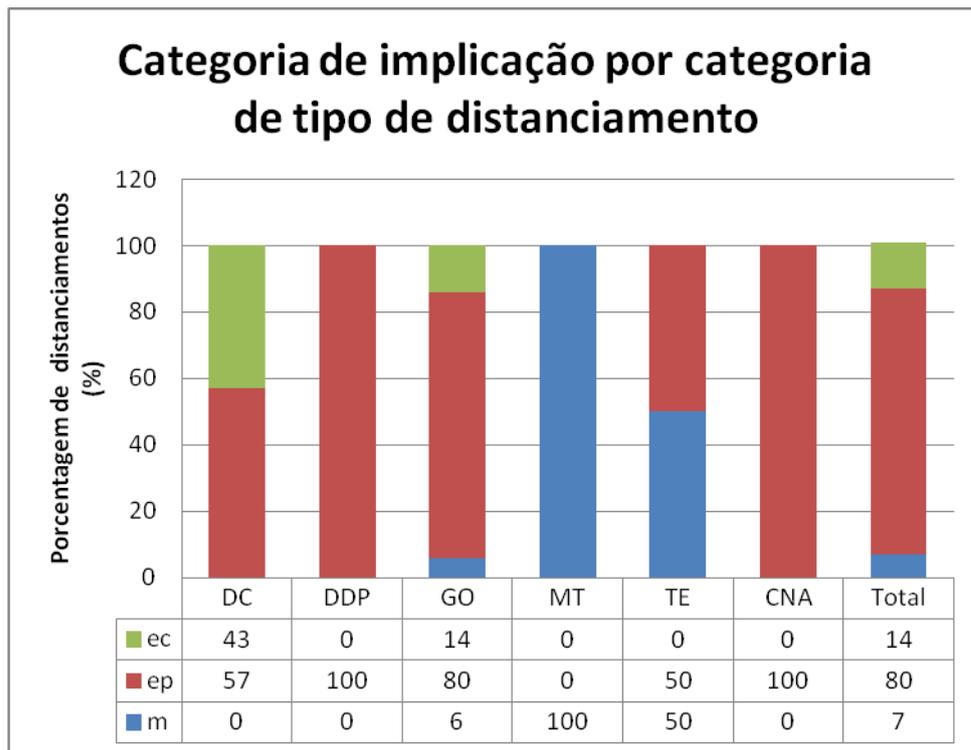
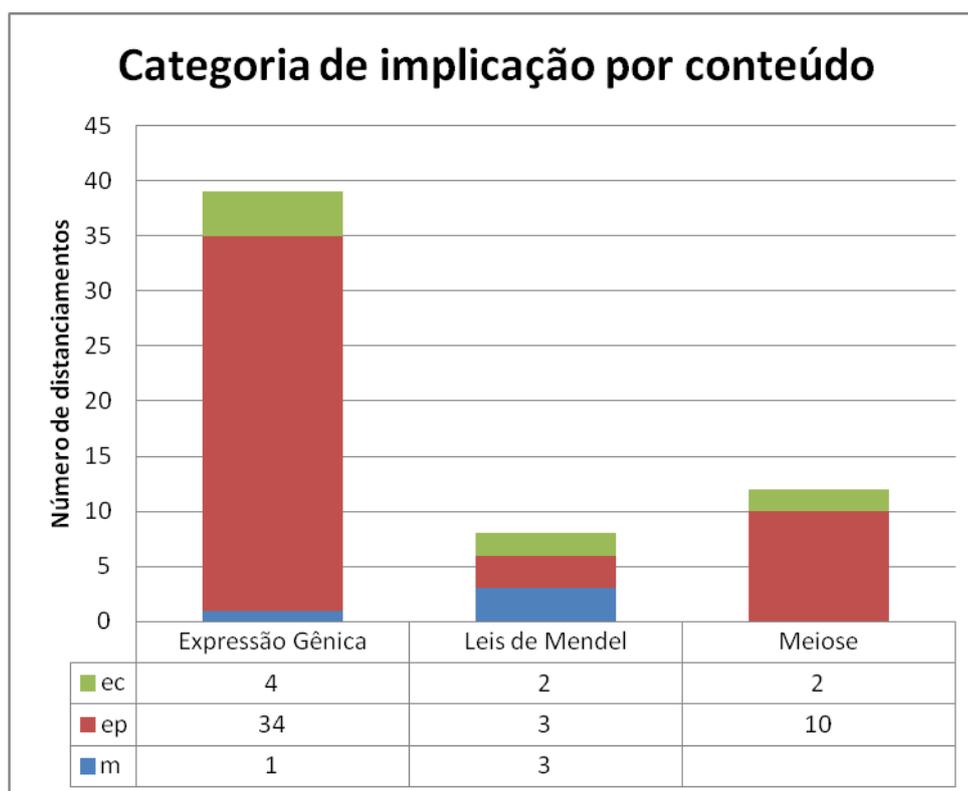


Gráfico 9 - Porcentagem de distanciamentos em cada categoria de implicação por categoria de tipo de distanciamento (TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DPP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da Ocorrência; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais*; ec = *entraves à compreensão de conhecimentos centrais*)

No Gráfico 10, pode-se verificar que a grande maioria dos distanciamentos cuja implicação foi categorizada como *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais* encontram-se no conteúdo *expressão gênica*, mas estão também presentes nos demais conteúdos. Aqueles distanciamentos cuja implicação foi categorizada como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* também se encontram mais localizados no mesmo conteúdo; no entanto, sua frequência é bem menor nos três conteúdos analisados.



**Gráfico 10 - Número de distanciamentos por categoria de implicação dentro de cada conteúdo (TE = Termos equivalentes; MT = Metáfora; DC = Distanciamento conceitual; DPP = Distanciamento na descrição do processo; GO = Generalização da Ocorrência; m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais)<sup>59</sup>**

Quanto à localidade, pode-se verificar, no Gráfico 11, que, dos oito distanciamentos classificados como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais*, quatro encontram-se na amostra de livros brasileiros e quatro, na amostra de livros estadunidenses.

<sup>59</sup> Conforme mencionado, as categorias de distanciamentos e categorias de implicações foram definidas nas páginas 194 e 195.

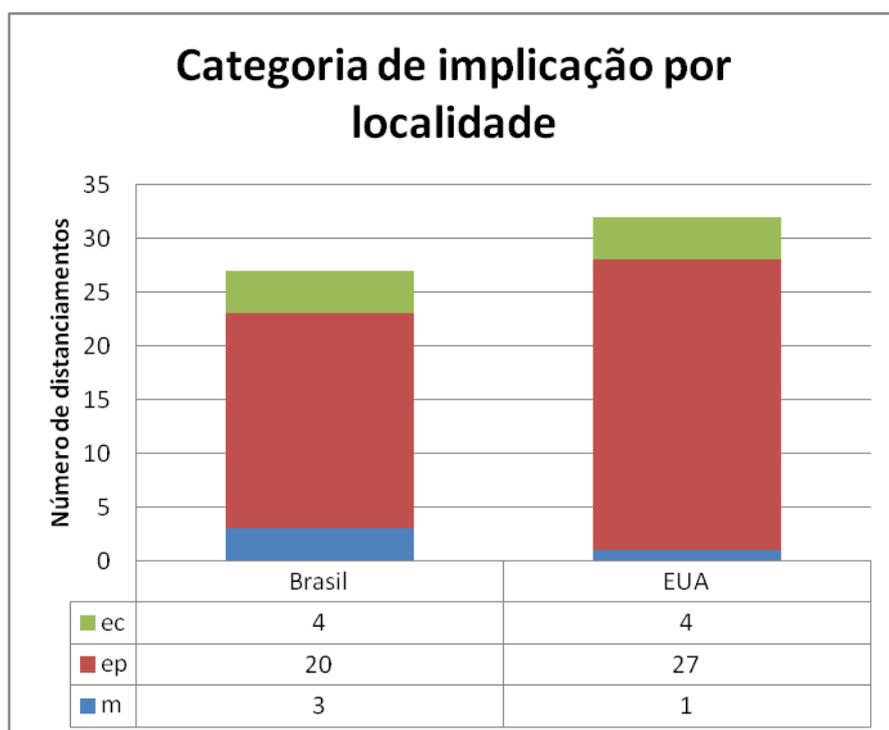


Gráfico 11 - Número de distanciamentos por categoria de implicação dentro de cada localidade (m = mantenedores da essência do conhecimento; ep = entraves à compreensão de conhecimentos pontuais; ec = entraves à compreensão de conhecimentos centrais)

Pelas tabelas e gráficos acima apresentados, é ainda possível verificar que, dos distanciamentos encontrados, nenhum se adequou às categorias *facilitadores para o conhecimento* e *entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais*.

### 3.3 DISCUSSÃO

Os resultados mostram que as aproximações são mais frequentes que os distanciamentos (com frequência relativa de 0,08).

Em pesquisa anterior (FRANZOLIN, 2007), realizada com conteúdos de diversas áreas da Biologia, cuja amostra de livros analisada incluía não apenas livros aprovados, mas também livros reprovados no PNLEM 2007 e PNLD 2005, encontrou-se uma frequência maior de distanciamentos. Apenas com relação aos distanciamentos aqui considerados como entraves à compreensão dos alunos, encontrou-se no referido trabalho uma frequência relativa

de 0,27 dentre dos conhecimentos de livros de Ciências do Ensino Fundamental, e de 0,17 nos livros de Biologia de Ensino Médio.

Desse modo, a frequência de distanciamentos de 0,08, encontrada pela presente pesquisa, pode ser decorrente tanto do fato de a transposição didática ser menos necessária nesse nível de ensino, como pela busca de rigor com o conhecimento científico, a qual pode estar influenciada pelas avaliações de livros didáticos das localidades. Como é possível verificar em El-Hani *et al.* (2007), livros que foram reprovados na avaliação do PNLEM 2007 apresentavam problemas para a compreensão de conteúdos relacionados à Genética e à Biologia Molecular, tais como meiose, mitose, código genético, estrutura e dinâmica do material genético e conceito de gene, entre outros. Segundo os autores, tais problemas poderiam prejudicar não apenas a compreensão do conteúdo em si, mas de outros tópicos a eles conectados, tais como reprodução e Evolução.

É ainda possível observar que, mesmo tendo um contexto diferente de avaliação e adoção de livros didáticos, os grupos de materiais dos dois contextos possuem frequências relativas de distanciamentos próximas (0,081, na amostra brasileira e 0,085, na amostra estadunidense).

Como a presente pesquisa não considerou nenhum dos encontrados como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais com graves implicações sociais*<sup>60</sup>, pode-se dizer que nenhum deles se caracteriza como *erro conceitual*. De acordo com a definição utilizada durante vários anos em processos oficiais de avaliação de livros didáticos e apresentada por Bizzo (2009), um erro conceitual apresenta um conjunto de características próprias que devem ocorrer simultaneamente:

- estar baseado em premissas que não são aceitas pela comunidade científica;
- constituir uma forma de conceber e explicar relações (modelo mental);
- estar fundamentado em conhecimentos adaptativos no contexto escolar;
- demonstrar-se falso e não adaptativo em situações da vida real. (BIZZO, 2009, p. 45)

---

<sup>60</sup> Conforme explicado na página 195, nessa categoria estariam os distanciamentos que trazem prejuízos graves para o aluno, podendo colocar sua integridade física ou psicológica em risco.

Portanto, para ser considerada um erro conceitual, é preciso que a informação tenha necessariamente esses quatro aspectos. Desse modo, o erro conceitual não é apenas uma forma distorcida de apresentar um conceito. O desacordo com as premissas científicas em si não seria um motivo para considerar um conceito apresentado como um erro conceitual, mesmo porque, segundo Bizzo (2009), dificilmente um cientista se sente confortável diante da definição didática de um conceito.

Para ser considerada um erro conceitual, a distorção tem que se apresentar não somente como uma simples informação do livro, e sim constituir um esquema de pensamento. Desse modo, precisa fazer parte de um modelo mental, ou seja, uma forma de compreender e explicar os fenômenos. Esse, porém, possui validade apenas no âmbito escolar, onde se mostra adaptativo, ou seja, se mostra útil e aplicável nesse contexto. Entretanto, não possui aplicação no mundo fora da escola, não sendo pertinente para explicá-lo e, mais gravemente ainda, podendo causar prejudiciais consequências para a vida real do aluno.

Não apresentando todas essas características, os distanciamentos aqui encontrados não podem ser considerados erros conceituais. Mesmo os distanciamentos categorizados como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais*<sup>61</sup> também não podem ser categorizados como erros conceituais, pois não fazem parte de um modelo mental. Em geral, esses distanciamentos não trazem prejuízos a vida real do aluno, e/ou podem ter sido gerados por pequenos descuidos ou má elaboração dos textos, distorcendo as ideias que se pretendiam expressar. Isso pode ser evidenciado quando os demais conhecimentos relacionados presentes no texto não compartilham essa informação, apresentando uma outra estrutura de pensamento. Por exemplo, quando o LDB diz que os *bivalentes* encontram-se aos pares ao estarem dispostos no equador da célula, o aluno que sabe o que é um bivalente poderia interpretar que haveria um emparelhamento entre dois pares de cromossomos homólogos, e não, simplesmente, dois cromossomos homólogos. Desse modo, estariam juntos nesse emparelhamento quatro cromossomos, e não apenas os dois homólogos. Entretanto, é possível verificar que tal raciocínio não faz parte do modelo mental dos autores, já que as demais informações referentes ao emparelhamento que ocorre durante a divisão celular mostram que o emparelhamento ocorre entre um par de cromossomos homólogos, e não dois.

---

<sup>61</sup> Conforme explicado na página 195, nessa categoria estariam os distanciamentos que dificultam ao aluno a compreensão de um conhecimento central para o entendimento de um conteúdo;

Entretanto, tais distanciamentos merecem atenção, pois são aqueles que podem dificultar a compreensão das ideias essenciais dos conteúdos considerados básicos por docentes e professores entrevistados na primeira parte desta pesquisa.

Quando um livro diz que os bivalentes posicionam-se aos pares no equador da célula durante a primeira divisão da meiose, isso pode causar confusões quanto ao número de cromossomos, como eles se emparelham e são distribuídos. Se o aluno não compreende quantos cromossomos estão participando do processo e como eles se emparelham e depois se separam fica, difícil compreender o fundamental da meiose, que é a distribuição dos cromossomos. Lewis e Wood-Robinson (2000) identificaram que alunos possuem dificuldade para compreenderem como ocorre a distribuição dos cromossomos na divisão celular, a qual pode ser ainda mais dificultada por informações como essa, encontrada na amostra de livros analisada. El-Hani *et al.* (2007) mencionam que vários outros problemas relacionados a esse tópico foram identificados nos livros reprovados, dentre eles a não-separação dos homólogos na anáfase I e, principalmente, outros que na presente pesquisa poderiam ser considerados como distanciamentos na descrição do processo, já que se tratam de inversões das fases da meiose e do que ocorre em cada uma delas. Confusões a respeito da definição de cromossomos homólogos, que também dificultariam a compreensão do processo de meiose e do emparelhamento e distribuição dos cromossomos, também foram encontradas em pesquisa anterior (FRANZOLIN, 2007). Dentre os livros destinados para o Ensino Fundamental, por exemplo, esse estudo encontrou uma definição de cromossomos homólogos como cromossomos que se encontram lado a lado, enquanto isso só ocorre de fato durante a sinapse na meiose.

Em outro distanciamento encontrado nesta pesquisa, quando se fala que a linhagem pura é aquela que, quando cruzada consigo mesma, produz indivíduos iguais a si, pode levar o aluno a entender que todas as características são herdadas juntas e a desconsiderar o processo de segregação independente, além de outros mecanismos determinantes das características. Nesse caso, o termo “iguais” desassociado da expressão “para uma característica” pode reforçar uma visão genética determinista. Outros exemplos que também reforçam essa visão foram encontrado por Castera *et al.* (2007), por exemplo, nas imagens de irmãos gêmeos, os quais aparecem inclusive vestidos de forma idêntica em livros de vários países.

Entre os distanciamentos classificados como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* encontrados nos livros analisados, ainda estão aqueles relacionados ao conceito de gene.

Alguns livros didáticos definem que cada gene é responsável pela produção de *um* polipeptídio, trazendo dificuldades para o aluno compreender a complexidade envolvida no conceito de gene, a possibilidade de um único gene gerar um ou mais tipos de polipeptídios e, ainda, que vários genes podem ser necessários para a formação de apenas um polipeptídio, conforme comentam Pitombo Almeida e El-Hani (2007) e Flodin (2010). Segundo El-Hani *et al.* (2007), esse problema foi também identificado em quatro dos livros reprovados no PNLEM (2007). Nesta pesquisa, foi identificado nos LDK e LDC. Porém, diferentemente do LDC e LDK, que apresentam apenas uma informação cientificamente desatualizada, os autores afirmam que os livros reprovados pela referida avaliação reforçavam um modelo mental que levava a uma concepção errônea de gene. Ao definir “expressão gênica”, o LDK ainda comenta apenas que esse é um processo de síntese de proteínas, sem mencionar que pode dar origem a RNAs funcionais, distanciamento também identificado por El-Hani *et al.* (2007) nos livros reprovados.

Ademais, segundo estes autores, nos livros reprovados, onde se encontrou uma relação simplista entre genes e proteínas, verificou-se que ela era complementada por uma visão determinista genética. Exemplificam citando o caso de um livro que dizia simplesmente que cada gene é responsável por uma ou mais características do indivíduo, ignorando que o fenótipo é produzido por meio de complexo processo desenvolvimental, que envolve tanto a complexidade estrutural e funcional do genoma como também a influência do ambiente. Tal reforço para o determinismo genético não foi identificado em LDK e LDC.

Conforme discutido nas discussões dos resultados das entrevistas<sup>62</sup>, esse tipo de visão determinista pode trazer consequências para que o aluno compreenda como suas próprias características se expressam, que fatores determinam a manifestação de certas doenças, e pode até mesmo ser base para idéias eugênicas (BIZZO, 1995, 1998b; DOUGHERTY, 2010).

Portanto, quanto aos distanciamentos classificados como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* encontrados, é possível verificar que eles podem confundir os alunos na compreensão do número de cromossomos homólogos existentes nas células em meiose, de

---

<sup>62</sup> Seção 2.3, página 139.

seu emparelhamento e distribuição durante esse processo, da diversidade de alelos que compõe o genoma dos organismos, dos fatores que determinam as características, da possibilidade de segregação independente e ainda dos conceitos de gene e expressão gênica.

Apesar de serem mais problemáticos para a compreensão dos alunos, por estarem relacionados às ideias principais dos conteúdos a eles relacionados, os distanciamentos considerados como *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* não foram os predominantemente identificados. A maioria dos distanciamentos encontrados nesta pesquisa foram categorizados quanto à sua implicação como *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais*, levando ao questionamento da importância que os autores dão aos detalhes<sup>63</sup>. Parece ser uma atribuição de importância contraditória. Por exemplo, quando o autor diz que o códon de início do processo de tradução é o AUG, demonstra dar importância para esse detalhe pelo simples fato de apresentá-lo em um livro didático. Entretanto, ao tratar essa informação como se fosse geral, como se ocorresse em todos os seres vivos, os autores deixam de lhe dar importância. Afinal, é ou não importante que o aluno saiba qual é o códon de iniciação? Se é importante, porque não é importante dizer que em bactérias há também outros códons, como GUG ou UUG? Se tais códons não são especificados, por que é importante mencionar o códon AUG?

Verificou-se também que a maioria dos distanciamentos encontrados na presente pesquisa foram categorizados como *generalização da ocorrência*<sup>64</sup> e, quanto à sua implicação, como *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais*, pois dificultariam aos alunos a compreensão de detalhes referentes aos conteúdos básicos, mas não à sua estrutura central. Um dos casos identificados seria quando alguns autores dizem que a síntese de RNA ocorre no núcleo, enquanto isso só é verdade para eucariontes.

---

<sup>63</sup> Conforme explicado na página 196, *entraves à compreensão de conhecimentos pontuais* são aqueles distanciamentos que causam a não-compreensão de um conhecimento específico, apesar de não interferirem negativamente na compreensão de um conhecimento central; e *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* são aqueles que dificultam ao aluno a compreensão de um conhecimento central para o entendimento de um conteúdo.

<sup>64</sup> Conforme explicado na página 195, nessa categoria estariam os distanciamentos que atribuem um conhecimento particular a um contexto geral.

Desse modo, nota-se que, muitas vezes, os autores acabam apresentando mecanismos próprios de organismos eucariontes e não especificam isso para o aluno. Este, além de não compreender como os mecanismos se dão em diferentes tipos de organismos, pode acabar concluindo que o processo é igual em todos os seres vivos. Outra possível consequência é a geração de uma visão antropocêntrica do processo. Primeiramente, pode-se dizer que talvez esse tipo de visão tenha influenciado determinados autores em suas escolhas, já que provavelmente adotam o processo que ocorre em eucariontes como modelo, por corresponder àquele presente nos seres humanos e, ainda, não deixam claro que o mecanismo não é universal. Em segundo lugar, tal visão dos autores poderá influenciar os alunos. Ao entrevistar alunos, Pendrancini *et al.* (2007) identificaram expressões antropocêntricas em seus discursos para expressar o que é DNA, tais como “DNA é a nossa identidade, onde fica constituída as nossas características” ou “O DNA é as características das pessoas”. Ao investigar como os estudantes do Ensino Médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético, Silveira (2003) também verificou que a relação entre seres vivos e células é evidente apenas para mamíferos, e particularmente para os seres humanos.

Essa frequência maior de distanciamentos do tipo *generalização da ocorrência* possivelmente se deve à sua sutileza. Eles trazem parcialmente uma informação que se aproxima do conhecimento de referência, aparentando não estar distante, mas se distanciam por generalizar a ocorrência de tal informação.

Se os autores não desejam dar mais detalhes, pode-se questionar se não seria possível evitarem as generalizações ao simplesmente utilizar, como fazem alguns livros, alguns termos para isso, dizendo, por exemplo, que “entre a primeira e a segunda divisão da meiose *pode* ocorrer uma interfase” ou que “o códon AUG é *na maior parte da vezes* o códon de início”. Ainda, como se pode verificar em algumas seções, tais como 3.2.4.1 e 3.2.4.28<sup>65</sup>, os livros didáticos se aproximam da referência quanto a algumas metáforas ou analogias utilizadas, tais como aquelas metáforas relacionadas à *informação* ou como aquela que trata a separação das fitas de DNA com a abertura de um *zíper*. Não foi objetivo desta pesquisa verificar se essas aproximações são pertinentes. Mas, baseando-se nas palavras proferidas na entrevista concedida pelo Prof. Dr. Lewontin, cabe aqui despertar uma reflexão sobre a pertinência de tais metáforas no Ensino Médio. Como o Dr. Lewontin afirma, essas metáforas

---

<sup>65</sup> Respectivamente, páginas 277 e 297.

podem não causar problemas para a compreensão do leitor de seu livro. Entretanto, afirma que é preciso considerar que elas podem não gerar o mesmo entendimento para o aluno do Ensino Médio, que possui outro conjunto de conhecimentos. Não se pretende aqui dizer que tais analogias são negativas e que não sejam úteis, e sim que para analisá-las é preciso verificar se sua desejada interpretação é possível a partir das demais informações que cada livro didático de Ensino Médio apresenta. El-Hani *et al* (2007), por exemplo, posicionam-se contra o uso da analogia do abertura do DNA com a abertura do zíper, dizendo que ela não considera a forma helicoidal da dupla fita de DNA e o desafio que essa traz para os processos nos quais a molécula está envolvida.

Quando se comparam os três conteúdos analisados, evidencia-se que o que possui maior número de distanciamentos é Expressão Gênica, seguido de Meiose e Leis de Mendel (apesar de a frequência relativa não obedecer totalmente essa lógica). Percebe-se que, quanto mais relacionado, mais minucioso e recente é o conhecimento gerado, maior foi o número de distanciamentos encontrados. Além da possibilidade de conhecimentos construídos a mais tempo estarem mais consolidados quanto à sua transposição didática, é possível que os aspectos mais moleculares necessitem, por estarem mais longe do observável, de uma maior didatização.

#### **4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Finalmente, estabelecem-se aqui algumas conclusões finais sobre ambas as partes desta pesquisa.

Na primeira parte da pesquisa, procurou-se verificar quais os conhecimentos básicos que os alunos deveriam saber sobre Genética ao final do Ensino Médio para se tornarem cidadãos críticos, segundo professores desse nível de ensino e docentes universitários que lecionam disciplinas da área.

Conclui-se que alguns conteúdos são mais preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de ambos os contextos, tais como *Padrões de herança* (especialmente *Leis de Mendel*), *Divisão celular* e *Genética Molecular* (especialmente tópicos relacionados ao *DNA*, tal como *Expressão gênica*, *Aplicações da Genética (Biotecnologia)*).

Percebe-se que a importância dada a esses conteúdos é muito similar nos dois diferentes contextos (São Paulo e Kalamazoo), já que são os mais mencionados nas duas localidades. Entretanto, apesar de tais proximidades, não se pretende com esta pesquisa propor um currículo único que sirva para todas as situações. Os dados aqui coletados servem muito mais para verificar o que é ou não prioridade para professores e docentes, discutir os motivos pelos quais os conteúdos são selecionados e a sua pertinência.

Pesquisadores vêm criticando experiências de implementação de currículos carentes de reflexões a respeito da apropriação dos conteúdos para as necessidades dos alunos, para as prioridades dos professores e para o contexto no qual são inseridos.

Guo (2007) afirma que o uso da *Internet* resultou em mudanças econômicas, culturais e sociais na educação, aumentando a interdependência e o relacionamento entre diferentes países. Dessa forma, a globalização aparece como uma das forças motrizes para a reforma do ensino de Ciências por todo o mundo, incidindo sobre as questões curriculares, cuja preocupação passa a não ser apenas atender as demandas nacionais, mas também internacionais. Entretanto, por outro lado, aparece também uma preocupação em manter o equilíbrio entre a globalização e a localização. Segundo Guo (2007), os estudantes possuem diferentes necessidades, objetivos, crenças, vivências sociais e culturais, conhecimentos prévios, experiências e abordagens de aprendizado. Portanto, um desafio seria motivar, ensinar e avaliar os estudantes de forma que sejam obtidos ótimos resultados tanto para o desenvolvimento pessoal do aluno como para o benefício da sociedade como um todo.

Aikenhead (2008) também questiona a importação de currículos realizada de um contexto para outro, mesmo porque, como pesquisas evidenciam (AIKENHEAD, 2006 *apud* AIKENHEAD, 2008, p. 1-2; EISENHART *et al.*, 1996), os currículos propostos pelos Estados Unidos e por países europeus, já são falhos ao serem aplicados no seu próprio contexto por estarem desconectados dos interesses e necessidades dos subgrupos, o que pode ser ainda mais agravado quando importados para outras localidades. Segundo Aikenhead (2008), mesmo o Canadá preferiu criar seu próprio currículo, em vez de adotar as propostas curriculares de seu vizinho, Estados Unidos, devido às diferenças culturais existentes entre os dois países. Portanto, o autor questiona o fato de outros países mais distantes, tais como os asiáticos, optarem por adotar tais currículos. Para Aikenhead, todos os documentos curriculares possuem ideologias, valores e mitos (AIKENHEAD, 2006). A implementação de tais documentos em um contexto cultural para o qual não foi gerado pode levar os alunos a

não se identificarem com o que está sendo ensinado, bem como gerar conflitos entre seus valores e os valores trazidos pelos documentos, dificultando o processo de aprendizagem ou a associação entre a Ciência aprendida na escola e as suas necessidades.

Desse modo, não seria possível considerar que os tópicos preponderantemente mencionados como básicos na presente pesquisa possam constituir um currículo a ser utilizado em todos os contextos. Tais conteúdos podem até ajudar a elencar, por exemplo, prioridades de pesquisa e de elaboração de materiais, ao revelar quais são as demandas de profissionais dentro do grupo de entrevistados. Podem até ser úteis para discutir a importância do ensino de certos tópicos menos mencionados pelos entrevistados, tais como a determinação de características complexas. Entretanto, para decisões curriculares, são mais úteis nesta pesquisa aqueles dados provenientes das justificativas apresentadas pelos docentes e professores. Espera-se que os argumentos presentes nessas justificativas possam auxiliar na reflexão sobre a relevância dos conteúdos que são priorizados e ensinados.

Como se pode verificar, as justificativas apresentadas pelos entrevistados para os conteúdos giram, por vezes, em torno da sua importância para aprender outros conteúdos. Especialmente, eles apontam meios como importante para aprender os padrões de herança. Entretanto, a maioria dos entrevistados justificam a escolha dos conteúdos apontando a sua importância para que o aluno compreenda aspectos relacionados ao seu cotidiano, tais como as informações que recebe pela mídia, ou como suas características se manifestam, como foram e serão herdadas.

Por outro lado, essa pesquisa também recebeu justificativas opostas ao ensino de tais conteúdos como prioritários. Julga-se aqui, entretanto, que tanto essas justificativas negativas como as positivas são importantes para se refletir sobre tais tópicos, para que os mesmos não sejam ensinados apenas por serem mais um conhecimento produzido pela Ciência, ou por serem mais um conteúdo que está nos livros didáticos.

Basicamente, a partir das justificativas dos entrevistados e das discussões já levantadas sobre elas, podem-se deixar aqui três grupos de questionamentos:

- 1) Quando o assunto é Genética Molecular e, principalmente, Biotecnologia, as justificativas contrárias estavam pautadas na sobrecarga de conteúdos e no pouco tempo disponível para ensiná-los aos alunos no Ensino Médio. Essas opiniões, expressas exclusivamente por metade dos docentes de São Paulo, merecem reflexões, já que trazem alguns argumentos interessantes. Como se verificou, esses entrevistados se preocupam que os

alunos estão saindo do Ensino Médio sem compreender nem o básico nem os temas mais modernos. Como se verificou na discussão, a literatura também revela essa dificuldade dos alunos. Desse modo, os docentes argumentam que é complicado os professores quererem ensinar o que é um transgênico, se o aluno não sabe onde estão os genes, como são os mecanismos de hereditariedade, como eles se expressam, entre outros. Entretanto, conforme discutido, a literatura também traz evidências de que a compreensão dos mecanismos básicos persiste no Ensino Superior. Além disso, evidencia problemas de desconexão entre os conteúdos. Desse modo, conclui-se que algumas questões devem ser levantadas sobre a metodologia que se utiliza hoje. Será que não seria melhor, em vez de deixar esses conteúdos para segundo plano, ensiná-los de forma mais integrada? Será que esses conteúdos considerados extras não são elementares para a compreensão do básico? Será que não faria mais sentido para o aluno entender o que é gene se ele compreender como ele está ligado a um assunto do seu cotidiano?

2) Outros questionamentos levantados seriam quanto à ênfase no ensino das leis mendelianas e dos mecanismos citológicos de herança, e a pouca atenção dada pela maioria dos entrevistados à genética quantitativa, à interação gênica e à influência do ambiente na expressão das características. Julga-se importante refletir se o peso dado a tais elementos não está propiciando o determinismo genético. Será que eles estão realmente permitindo aos alunos a compreensão de características, uma das maiores preocupações apontadas pelos entrevistados? Seriam esses alunos capazes de compreender o que a mídia ou seu médico diz sobre doenças hereditárias? Será que não se está dando muita ênfase à resolução de problemas que visam explicar a herança de características simples, enquanto as características dos alunos são complexas?

3) Todavia, como já mencionado, não se pretende aqui defender que as leis de Mendel e a meiose não devem ser ensinadas. A maioria dos entrevistados consideraram tais conteúdos como básicos; entretanto, foram levantados questionamentos quanto à sua pertinência. Apesar de este trabalho, assim como alguns autores na literatura, questionar um ensino de Genética em que grande ênfase é dada a tais conteúdos e pouca atenção é dada a conteúdos que expliquem as características complexas, é preciso se perguntar se é possível compreender herança sem a compreensão das leis mendelianas e da segregação dos cromossomos durante a meiose. Mesmo que o aluno conheça os mecanismos moleculares de expressão gênica, compreenda como os genes interagem e que o ambiente influencia nesse processo, como ele

poderia entender o por que seus filhos herdariam ou não alguns de seus genes? Será que esses últimos elementos dariam conta de explicar a hereditariedade ou apenas a expressão das características?

Por fim, considera-se aqui que tais questionamentos, não são elementos apenas de discussões, mas importantes elementos para novas pesquisas.

Já quanto à segunda parte desta pesquisa, ao analisar conteúdos de Genética mais preponderantemente considerados como básicos pelos professores e docentes de São Paulo (SP) e Kalamazoo (MI), em livros destinados ao Ensino Médio, utilizados por professores das duas localidades, essa pesquisa procurou verificar como os conhecimentos desses materiais se aproximam e se distanciam dos conhecimentos de referência, representados por uma bibliografia de referência.

Para verificar os limites e potencialidades da principal obra adotada como referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b), entrevistou-se um de seus autores, Richard C. Lewontin. Dessa entrevista, um ponto merece ser destacado, o qual está mais relacionado à primeira parte desta pesquisa. O autor comentou sobre a dificuldade que ele tinha em dialogar com os demais autores sobre a importância de deixar uma visão menos determinista genética na obra. Isso revela que, mesmo entre autores de obras de referência, há uma dificuldade em se lembrar da importância do ambiente e a complexidade das características dos organismos.

Além disso, o autor chama a atenção para que o modo como os conhecimentos e as metáforas são apresentados em sua obra pode ser compreensível para seus leitores, mas não apropriado para ser apresentado para alunos da *High School* (ou do Ensino Médio, em nosso contexto).

Essa entrevista também trouxe outros dados que podem ainda complementar aqueles discutidos na primeira parte desta pesquisa, já que foi possível verificar como os autores selecionam os conteúdos que são inseridos em uma obra de referência, a qual é utilizada para a formação de licenciados em Ciências Biológicas, ou seja, os futuros professores dos alunos de Ensino Médio. Segundo o entrevistado, não há uma justificativa única para essa escolha. Cada autor tenta colocar no livro o que julga importante, influenciado pelas ideias da comunidade de pesquisadores, por suas leituras e pelo que considera que os alunos devem saber. Opções tomadas por outras obras e a opinião dos usuários por meio de questionário também podem influenciar. Entretanto, segundo o entrevistado, a obra não é elaborada pensando na possibilidade de seus leitores serem futuros professores.

Diante da ciência das potencialidades e limitações das obras de referência, a presente pesquisa procurou comparar os conhecimentos que elas expressam com aqueles presentes nos livros didáticos, procurando verificar as aproximações e distanciamentos entre ambos. Para tanto, considerou-se tanto que há uma necessidade de que tais distanciamentos ocorram, pois a transposição didática é necessária para que tais conhecimentos sejam aprendidos pelos alunos, como, por outro lado, que é importante que tais materiais didáticos possuam um certo rigor com relação ao conhecimento produzido pela academia.

Conclui-se que, na amostra analisada, as aproximações são mais frequentes do que os distanciamentos, possivelmente devido ao maior rigor com relação ao conhecimento científico, tanto decorrente da menor necessidade da pedagogização e da didatização para o Ensino Médio, como também devido à influência das avaliações de livros didáticos. Verificou-se, ainda, que, apesar das diferenças dos processos de avaliação e adoção de materiais didáticos no Brasil e nos Estados Unidos, as frequências de distanciamentos nos materiais dos dois contextos são muito similares.

No caso brasileiro, pelo relato dos problemas identificados nos livros reprovados no PNLEM de 2007 (EL-HANI *et al.*, 2007), é possível verificar que, possivelmente, se a amostra de materiais aqui analisada incluísse tais livros, mais distanciamentos seriam encontrados, incluindo aqueles com graves implicações, como, por exemplo, aqueles que favorecem o determinismo genético.

A análise realizada permitiu classificar os distanciamentos aqui identificados em diferentes categorias, de modo que eles não fossem simplesmente considerados como erros conceituais. Inclusive, concluiu-se que nenhum deles poderia de fato ser assim denominado, por não apresentar todos os requisitos para tanto.

Nem todo distanciamento encontrado foi classificado como um entrave à compreensão do aluno. Mesmo dentre aqueles assim considerados, nenhum foi julgado como prejudicial à vida real do estudante. Entretanto, nem por isso se considera aqui que eles não mereçam atenção. Parte desses distanciamentos, apesar de ser a minoria, podem causar confusões aos alunos na aprendizagem dos conhecimentos centrais com relação aos conteúdos abordados. Podem dificultar a compreensão do real número de cromossomos homólogos existentes nas células em meiose, de seu pareamento e distribuição durante esse processo, da variação alélica existente nos cromossomos, dos fatores que influenciam a expressão das características de um organismo e ainda dos conceitos de gene e expressão gênica. Entretanto, tais distanciamentos

não são em si erros conceituais, pois não fazem parte de um modelo mental. Desse modo, eles poderiam até confundir o aluno, mas não são reforçados pelo raciocínio presente nos demais elementos expressos nos livros. Entretanto, a maioria dos distanciamentos encontrados são aqueles que dificultam o aprendizado de elementos de conhecimentos que não estão relacionados às ideias centrais dos conteúdos. Ao mesmo tempo em que os autores demonstram considerar tais informações significantes ao mencioná-las, demonstram o oposto, quando dão menor atenção a seu rigor com relação ao conhecimento científico, ou a apresentam generalizando a sua ocorrência. Como notado, a maioria dos distanciamentos também são generalizações, ou seja, são informações específicas que são adotadas de forma geral, sendo, desse modo, atribuídas a um contexto no qual não são pertinentes, podendo levar, por exemplo, os alunos a interpretarem que certos mecanismos ocorrem da mesma forma em diferentes organismos, enquanto, na verdade, o processo ocorrem de forma distinta. Entretanto, é possível notar que nem todos os livros apresentam esses distanciamentos, sendo capazes de apresentar tais conhecimentos de uma forma simples, clara e mais próxima do conhecimento de referência. Por isso, poder-se-ia perguntar se há a necessidade de manter essas generalizações. Por fim, quanto à comparação entre os conteúdos, conclui-se que, para a amostra analisada, o conteúdo Expressão Gênica é o que apresenta a maior frequência relativa de distanciamentos, o que pode ser devido ao seu caráter molecular e à construção mais recente de seu conhecimento.

Os dados aqui apresentados podem ser utilizados para o provimento dos livros didáticos, seja pelos autores que escrevem tais obras, seja por avaliadores que terão que verificar a qualidade desses materiais. Esta pesquisa também poderá servir de base para que outros conteúdos sejam analisados por outros pesquisadores, levando-se em consideração os instrumentos metodológicos aqui utilizados, os quais constituem uma alternativa às investigações que simplesmente identificam qualquer distanciamento presente no livro didático como um erro conceitual. Ademais, os resultados podem ser utilizados também para que os professores, ao possuírem conhecimento de tais possibilidades de distanciamentos, possam realizar as intervenções necessárias em sala de aula para evitar as consequências daqueles que possam ser entraves à compreensão de conhecimentos.

Não se pretende concluir aqui que os livros didáticos não devem ser utilizados na educação por possuírem distanciamentos com relação ao conhecimento científico. Primeiramente, é preciso ponderar qual é o tipo de distanciamento encontrado, pois há aqueles

decorrentes da transposição didática que são úteis e importantes. Em segundo lugar, é preciso levar em conta que os necessários processos de pedagogização e didatização são complexos e que podem gerar distanciamentos que dificultam a compreensão de conhecimentos. Desse modo, é importante um constante processo de avaliação desses materiais apoiado por pesquisas, tais como esta, que visem a dirigir o olhar para novos elementos e auxiliar no processo de transposição didática.

Deve-se considerar, também, que tais distanciamentos não são só elementos exclusivos dos livros didáticos. Certamente, se o professor não utilizar esses livros como recursos em suas aulas, utilizar-se-ão outros materiais, que podem ter uma frequência maior de distanciamentos que se caracterizam como *entraves à compreensão de conhecimentos*, os quais podem inclusive ser mais graves, pois esses materiais não passam por processos de avaliação pelos quais os livros didáticos vêm passando. Ademais, mesmo que o professor só utilize como recurso sua própria exposição oral, nas suas explicações sobre o tema para o aluno podem estar presentes os mesmos distanciamentos.

Sobretudo, refletir sobre os distanciamentos encontrados em tais livros didáticos pode auxiliar tanto no provimento dos materiais utilizados como na transposição didática dos conteúdos ensinados, independentemente do recurso didático o qual se pretende usar. Desse modo, poder-se-ia evitar possíveis obstáculos para que os alunos realmente compreendam os conteúdos ensinados.

## REFERÊNCIAS

AAAS. American Association for the Advancement of Science. Disponível em: <<http://www.aaas.org>>. Acesso em: 20 mai. 2011.

ACADEMIA BRASILEIRA DE LETRAS. **Vocabulário ortográfico da língua portuguesa**. 5. ed. São Paulo: Global, 2009. 877 p.

AIKENHEAD, G. S. Importation of Science Programs from Euro-American Countries into Asian Countries and Regions: A Recipe for Colonization? In: CONFERENCE OF ASIAN SCIENCE EDUCATION, 2008, Kao-hsiung, Taiwan, 2008. Disponível em: <<http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/#Conference%20Papers>>. Acesso em: 01 jul. 2011.

AIKENHEAD, G. S. **Science education for everyday life**: Evidence-based practice. New York: Teachers College Press. 2006.

ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Biologia Molecular da Célula**. 5<sup>th</sup>. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 1396 p.

ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Molecular Biology of the Cell**. 5<sup>th</sup> ed.. New York e London: Garland Science, 2008.

ALVES, G.; CARVALHO, G. S. Reproduction and Sex Education in Portuguese Primary School Textbooks: A Poor Contribution to Scientific Learning. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

APPLE, M. W. M. W. Regulating the Text: The Socio-Historical Roots of State Control. In: ALTBACH, Philip G.; KELLY, Gail P.; PETRIE, Hugh G.; WEIS, Lois. **Textbooks in American Society**: Politics, Policy and Pedagogy. Albany: State University of New York Press, 1991. 261 p.

ARTIOLI, G. G.; HIRATA, R. D. C.; LANCHÁ JR., A. H. Terapia gênica, *doping* genético e esporte: fundamentação e implicações para o futuro. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 13, n. 5, 2007.

AYUSO, G. E.; BANET, E. Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 1, p. 133-157, 2002.

BALL, D. L.; FEIMAN-NEMSER, S. Using Textbooks and Teachers' Guides: A Dilemma for Beginning Teachers and Teacher Educators. **Curriculum Inquiry**, v. 18, p. 401-423, 1988.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2007. 223 p.

BATESON, W.; SAUNDERS, E. R. The facts of heredity in the light of Mendel's discovery. **Reports to the Evolution Committee of the Royal Society**, v. 1, 1922, p. 125-160.

BIZZO, N. Eugenia: Quando a Biologia faz falta ao cidadão. **Cadernos de Pesquisa**. n. 92, p. 38-52, 1995.

\_\_\_\_\_. **Ciências: fácil ou difícil?** São Paulo: Ática, 1998. 144 p.

\_\_\_\_\_. **Mais Ciência no Ensino Fundamental:** metodologia de ensino em foco. São Paulo: Editora do Brasil, 2009. 142 p.

\_\_\_\_\_. O Paradoxo social-eugênico e os professores: ontem e hoje. In: CHASSOT, A.; OLIVEIRA, J. R. (orgs). **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: UNISINOS, 1998. p. 165-189.

\_\_\_\_\_. Falhas no ensino de Ciências: Erros em livros didáticos ainda persistem em escolas de Minas e São Paulo. **Ciência Hoje**. v. 27, n. 159, p. 26-31. 2000.

BIZZO, N. V. M.; DEL CARLO, S.; FRANZOLIN, F.; NARCISO JR., J. Brazilian science textbooks and canonical Science. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

BIZZO, N.; EL-HANI, C. N. O Arranjo Curricular do Ensino de Evolução e as Relações entre os Trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 235-257, 2009.

BONZANINI, T.K.; BASTOS F. Concepções de alunos do ensino médio sobre clonagem, organismos transgênicos e Projeto Genoma Humano. In: V ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2005, Bauru. **Atas...** Bauru: Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2005.

BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais. In: **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Parte I: Bases Legais. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC/SEMTEC, p. 46-106, 2000.

BRASIL. Lei n.º 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 jan. 1996. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Programa Nacional do Livro Didático 2004. **Guia de Livros Didáticos 1ª. a 4ª. série**. v. 2. Brasília: MEC, 2003. 275p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Programa Nacional do Livro Didático 2012. **Guia de Livros Didáticos: PNLD 2012 Biologia**. Brasília: MEC, 2003. 76p.

BRIDGFORTH, B. D. **An investigation into the teaching of and curriculum development for inheritance and genetic diseases on the secondary school level.** 171p. PhD Dissertation. University of Massachusetts, 1993.

CAMARGO, S. S.; INFANTE-MALACHIAS, M. E. A genética humana no Ensino Médio: algumas propostas. **Genética na Escola**, v. 2, n. 1, p. 14-16, 2007.

CARAVITA, S.; VALENTE, A.; LUZI, D.; PACE, P. G. , KHALIL, I; YOUSSEF, R.; VALANIDES, N. N. O.; BERTHOU, G.; KOZAN-NAUMESCU, A.; CLEMENT, P.; SARAPU, T. Construction and Validation of Textbook Analysis Grids for Ecology and Environmental Education. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

CARVALHO, A. M. P. Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. In: SANTOS, F. M. T; GRECA, I. M. (Orgs.) **A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias.** Ituí: Unijuí, p. 13-48, 2007.

CARVALHO, G. S.; SILVA, R.; CLÉMENT, P. Historical analysis of Portuguese primary school textbooks (1920-2005) on the topic of digestion. INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY, SOCIOLOGY & SCIENCE TEACHING CONFERENCE, 8., 2005, Leeds. **Proceedings...** Leeds:, IHPST, 2005, 21p. Disponível em: <[http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Carvalho\\_Silva\\_Clement.pdf](http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Carvalho_Silva_Clement.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2006.

CASTÉRA, J.; CLÉMENT P.; ABROUGUI, M. Images of Twins and the Notion of Genetic Program in The School Textbooks of Biology: A Comparative Study Held Among 16 Countries. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

CCMS. Center for Curriculum Materials in Science. Disponível em: <<http://www.sciencematerialscenter.org>>. Acesso em: 24 mai. 2011.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: Del saber sabio al saber enseñado.** Buenos Aires: Aique, 1991.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A necessária renovação do ensino das ciências.** São Paulo: Cortez, 2005.

COBERN, W. W. Worldview Theory and Conceptual Change in Science Education. **Science Education**, v. 80, n. 5, p. 579-610, 1996.

DAWSON, V.; SOAMES, C. The effect of biotechnology education on Australian high school students' understandings and attitudes about biotechnology processes. **Research in Science & Technological Education**, v. 24, n. 2, p. 183-198, 2006.

DEL CARLO, S. **Conceitos de Física na educação básica e na Academia: aproximações e distanciamentos**. 2007. 97 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DOUGHERTY, M.J. Closing the gap: Inverting the genetics curriculum to ensure an informed public. **The American Journal of Human Genetics**, v. 85, n. 1, p. 6-12, 2009.

\_\_\_\_\_. Teaching the genetics of complex traits. In: IOSTE SYMPOSIUM, 14., 2010, Bled, Slovenia. **Proceedings...** International Organisation for Science and Technology Education, 2010.

DOUGHERTY, M.J.; PLEASANTS, C.; SOLOW, L.; WONG, A.; ZHANG, H. A comprehensive analysis of high school genetics standards: are states keeping pace with modern Genetics? **Cell Biology Education - Life Sciences Education**, v. 10, p. 318-327, 2011.

EISENHART, M.; FINKEL, E.; MARION, S.F. Creating the Conditions for Scientific Literacy: A Re-Examination. **American Educational Research Journal**, v. 33, n. 2, p. 261-295, 1996.

EL-HANI, C. N.; ROQUE, N. Brazilian High School Biology Textbooks: Results from a National Program. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

EL-HANI, C. N.; ROQUE, N.; VANZELA, A. L. L.; SOUZA, A. F. L.; MARQUES, A. C.; VIANA, B. F.; KAWASAKI, C. S.; LEME, C. L. D.; FARIA, D.; MEYER, D.; OMENA, E.; OLIVEIRA, E. S.; ASSIS, J. G. A. ; FREGONEZE, J.; QUEIROZ, L. P. ; CARVALHO, L. M.; NAPOLI, M.; CARDOSO, M. Z.; SILVEIRA, N. A.; HORTA, P. A.; SANO, P. T.; ZUCOLOTO, R. B.; TIDON, R.; SILVA, S. A. H.; ROSA, V. L.; ROCHA, P. L. B. Brazilian High School Biology Textbooks: Main Conceptual Problems in Genetics and Cell & Molecular Biology. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

ESCRIBANO, D. D.; SAHELICES, C. C. Imágenes externas de gen y cromosoma en materiales instruccionales para la enseñanza de la Biología en el sistema educativo venezolano. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 2, p. 74-86, 2004.

FERREIRA, P.; JUSTI, R. S. A abordagem do DNA nos livros de biologia e química do Ensino Médio: Uma análise crítica. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 6, n. 1, 2004. Disponível em: <[http://www.fae.ufmg.br/ensaio/v6\\_n1/volumeVIInI.htm](http://www.fae.ufmg.br/ensaio/v6_n1/volumeVIInI.htm)>. Acesso em: 26 ago. 2006.

FLODIN, V. The Necessity of Making Visible Concepts with Multiple Meanings in Science Education: The Use of the Gene Concept in a Biology Textbook. **Science & Education**, v. 18, n. 1, p. 73-94, 2009.

FORQUIN, J. C. Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais. **Teoria e Educação**, Porto Alegre, n. 5, p. 28-49, 1992.

FRANZOLIN, F. **Conceitos de Biologia na educação básica e na Academia: aproximações e distanciamentos**. 2007. 162 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FREIRE-MAIA, N. **Gregor Mendel: vida e obra**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995. 97 p.

GERICKE, N. M.; HAGBERG, M. The phenomenon of gene function as described in textbooks for upper secondary school in Sweden - a comparative analysis with historical models of gene function. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

GEELAN, D. R. Epistemological anarchy and the many forms of constructivism. **Science & Education**, v. 6, n. 1-2, p. 15-28, 1997.

GUO, C.-J. Issues in science learning: An international perspective. In ABELL, S. K.; LEDERMAN; N.G. **Handbook of research on science education**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007. p. 227-256.

GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; SUZUKI, D. T.; LEWONTIN, R. C.; GELBART, W. M. **Introdução à genética**. 8. ed.. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 743 p.

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S. R; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. **Introdução à genética**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008a. 712 p.

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S. R; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. **Introduction to Genetic Analysis**. 9.<sup>th</sup> ed. New York: Feeman and Company, 2008b. 838 p.

GUIMARÃES, M. A.; CARVALHO, W. L.; OLIVEIRA, M. S. Raciocínio moral na tomada de decisões em relação a questões sociocientíficas: o exemplo do melhoramento genético humano. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 2, p. 465-477, 2010.

INFANTE-MALACHIAS, M. E; PADILHA I. Q. DE M.; WELLER, M. W.; SANTOS, S. Comprehension of basic genetic concepts by Brazilian undergraduate students. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 657-668, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE EVALUACIÓN Y CALIDAD DEL SISTEMA EDUCATIVO. **Estilo docente del profesor**. Disponível em: <[http://www.institutodeevaluacion.mec.es/contenidos/pdfs/p6\\_2.pdf](http://www.institutodeevaluacion.mec.es/contenidos/pdfs/p6_2.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2007.

ISD/RESA/RESO COLLABORATIVE. **High School Science Priority Expectations for the Next Generation of Science Standard, 2010**. Disponível em:

<<http://www.resa.net/curriculum/curriculum/science/curriculum/priorityexpectations>>. Acesso em: 29 jun. 2011.

JOHANNSEN, W. Genotype Conception of Heredity. **The American Naturalist**, v. 45, n. 531, 1911, p. 129-159.

JUSTINA, L. A. D.; CALUZI, J. J., MEGLHIORATTI, F. A., CALDEIRA, A. M. A. A herança genotípica proposta por Wilhelm Ludwig Johannsen. **Filosofia e História da Biologia**, v. 5, n. 1, p. 55-71, 2010.

KESIDOU, S.; ROSEMAN, E. How Well Do Middle School Science Programs Measure Up? Findings from Project 2061's Curriculum Review. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 522-549, 2002.

KIST, C. P.; FERRAZ, D. F.; Compreensão de professores de biologia sobre as interações entre ciência, tecnologia e sociedade. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 1, 2010.

KREBS, J; GOLDSTEIN, E. S.; KILPATRICK, S.T. **Lewin's Genes X**. 10.<sup>th</sup> ed. Boston, Toronto, London, Singapore: Jones & Barlet Pub, 2008. 930 p.

LEE, O.; EICHINGER, D. C.; ANDERSON, C.W.; BERKHEIMER, G. D., BLAKESLEE, T. D. Changing Middle School Students' Conceptions of Matter and Molecules. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 3, p. 249-270, 1993.

LEMOS, C. B. **Análise de conteúdos de nutrição em livros didáticos do ensino fundamental**. 2009. 205p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LEWIS, J.; WOOD-ROBINSON, C. Genes, chromosomes, cell division and inheritance. Do students see any relationship? **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 2, p. 177-195, 2000.

LEWONTIN, R.C.; ROSE, S.; KAMIN, L. **Not in out genes: Biology, Ideology and Human Nature**. New York: Pantheon Books, 1984.

LODISH, H. ; BERK, A.; KAISER, C. A.; KRIEGER, M.; SCOTT M. P.; BRETSCHER, A. PLOEGH, H. **Molecular Cell Biology**. 6.<sup>th</sup> ed. New York: WH Freeman & Co., 2007. 1150 p.

LOPES, A. R. C. **Conhecimento escolar: ciência e cotidiano**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999. 236 p.

MARSHALL. C; ROSSMAN, G. B. **Designing Qualitative Research**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2006. 262 p.

MARTÍNEZ-GRACIA, M. V.; GIL-QUÍLEZ, M. J.; OSADA, J. Genetic engineering: a matter that requires further refinement in Spanish secondary school textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 9, p. 1147-1168, 2005.

MARTINS, L. A. P. Bateson e o programa de pesquisa mendeliano. **Episteme**, n. 14, p. 27-55, 2002.

MARTINS, L.A.P.; BRITO, A. P. O. P. M. A história da Ciência e o ensino da Genética e Evolução no Nível Médio: Um estudo de caso. In: SILVA, C. C. **Estudos de História e Filosofia das Ciências**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006, Capítulo XIII, p. 245-264.

MEC. Ministério da Educação. **Programa Nacional do Livro de Ensino Médio**. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?id=13608&option=com\\_content&view=article](http://portal.mec.gov.br/index.php?id=13608&option=com_content&view=article)>. Acesso em: 18 mai. 2011.

MEC. Ministério da Educação. INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Sinopse Estatística do Professor**. 2007. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basica-censo-escolar-sinopse-sinopse>>. Acesso em: 13 jun. 2011.

MELO, J. R.; CARMO, E. M. Investigações sobre o ensino de genética e biologia molecular no Ensino Médio brasileiro: reflexões sobre as publicações científicas. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 593-611, 2009.

MENDEL, G. **Experiments in Plant Hybridization**. Tradução William Bateson; Roger Blumberg. Electronic Scholarly Publishing Project, 1996. Disponível em: <<http://www.esp.org>>. Acesso em: 25 nov. 2011.

MENDEL, G. **Versuche über Pflanzen-Hybriden**. Brünn: Verhandlungen des naturforschenden Vereines, 1866. 47 p.

MICHIGAN. **Michigan Merit Curriculum: Course/Credit Requirements – Biology**. Michigan State Board of Education. Michigan Department of Education, 2006. 42p.

MICHIGAN DEPARTMENT OF EDUCATION. Annual Education Report. 2009 Disponível em: <<http://aer.data4ss.org/>>. Acesso em: 13 jun. 2011.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. Rio de Janeiro: Abrasco, 1992. 269 p.

MOORE, J. A. Science as a Way of Knowing – Genetics. **American Zoologist**, v. 26, n. 3, p. 583-747, 1986

MORETIN, P. A.; BUSSAB W. B. **Métodos quantitativos para economistas e administradores**: Estatística Básica, São Paulo: Editora Atual, 1981.

NARCISO-JUNIOR, J. **Conceitos de Química na educação básica e na Academia: aproximações e distanciamentos**. 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NASCIMENTO, T. G. O discurso da divulgação científica no livro didático de ciências: características, adaptações e funções de um texto sobre clonagem. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 5, n. 2, p. 15-28, 2005.

OECD. **PISA 2009 Results: What Students Know and Can Do: Student Performance in Reading, Mathematics and Science**. Volume I. OECD Publishing, 2010. 272 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264091450-en>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

PATTON, M. Q. **Qualitative evaluation and research methods**. Newbury Park, Calif.: Sage Publications, 1990. 532 p.

PEDRANCINI, V. D.; CORAZZA-NUNES, M. J.; GALUCH, M. T. B.; MOREIRA, A. L. O. R.; RIBEIRO, A. C. Ensino e aprendizagem de Biologia no Ensino Médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 299-306, 2007.

PEDRANCINI, V. D.; CORAZZA-NUNES, M. J.; GALUCH, M. T. B.; MOREIRA, A. L. O. R.; NUNES, W. M. C. Saber científico e conhecimento espontâneo: opiniões de alunos do Ensino Médio sobre transgênicos. **Ciência e Educação**, v. 14, n. 1, p. 135-146, 2008.

PEDRANCINI, V. D.; CORAZZA-NUNES, M. J.; GALUCH, M. T. B.; Mediação pedagógica e a formação de conceitos científicos sobre hereditariedade. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 109-132, 2011.

PITOMBO, M. A.; ALMEIDA, A. M. R.; EL-HANI, C. N. Gene concepts in higher education cell & molecular biology textbooks. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

PRETI, D. A propósito do conceito urbano oral culto: a língua e as transformações sociais. In: PRETI, D. (org). **O Discurso Oral Culto**. São Paulo: Humanitas, 1997.

PROJECT 2061. Project 2061 Textbook Evaluations. Disponível em: <<http://www.project2061.org/publications/textbook/default.htm>>. Acesso em: 23 mai. 2011.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERZOG, W. A. Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

SÃO PAULO. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Biologia**. São Paulo: Secretaria do Estado da Educação, 2008. 55 p.

SÃO PAULO. **Unificação de dispositivos legais e normativos relativos ao Ensino Fundamental e Médio**. São Paulo: Secretaria do Estado da Educação, 2010. p. 384 p.

SHAPIRO, James A. Mobile DNA and evolution in the 21st century. **Mobile DNA**, v. 1 n. 4, 2010.

SILVEIRA, R. V. M. **Como os estudantes do Ensino Médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético?** 2003. 88 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SKUJIENÉ, G.; VALANIDES, NICOS; NISIFOROU, O.; KOZAN, A.; BRANCA, T. R.; FERREIRA, C.; CARVALHO GRAÇA, HORVATH, D.; BERTHOU, G.; CARAVITA, S.; MARGNELLI, N. Humans and Nature Relationship: Images and Text of Ecology and Environmental Education. In: INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOK, 2007, Hammamet, Tunisie. **Proceedings...** Hammamet, Tunisie: International Organisation for Science and Technology Education, 2007.

SMITH, M. U. Teaching cell division: student difficulties and teaching recommendation. **Journal of the College Science Teaching**, v. 21, n. 1, p. 28-33, 1991.

SOLBES, J., CALATAYUD, M. L., CLIMENT, J. B., NAVARRO, J. Diseño de un currículum para la introducción del modelo atómico cuántico. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 5, p. 309-310, sept. 1987a. n. extra.

ŠORGO, A.; AMBROŽIČ-DOLINŠEK, J. Knowledge of, attitudes toward, and acceptance of genetically modified organisms among prospective teachers of biology, home economics, and grade school in Slovenia. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 38, n. 3 p. 141-150, 2011.

THE CHRONICLE OF HIGH EDUCATION. **Top Research Universities Faculty Scholarly Productivity Index: 2007**. Disponível em: <<http://chronicle.com/stats/productivity>>. Acesso em: 13 jun. 2011.

TIMES HIGH EDUCATION. **THE World University Rankings 2010**. Disponível em: <<http://www.timeshighereducation.co.uk>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

TRIOLA, M. F. **Introdução a Estatística**. 10 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008.

USAK, M.; ERDOGAN, M., PROKOP, P., OZEL, M. High school and university students' knowledge and attitudes regarding biotechnology: A Turkish experience. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 37, n. 2, p. 123-130, 2009.

U.S. NEWS & WORLD REPORT. **National University Rankings: 2011**. Disponível em: <<http://www.usnews.com/rankings>>. Acesso em: 13 jun. 2011.

VILLAS BOAS, A. Conceitos errôneos de Genética em livros didáticos do ensino médio. **Genética na Escola**, v. 1, n. 1, p. 9-11, 2006.

VOGEL, F; MOTULSKY A. G. **Human Genetics: Problems and Approaches**. 3.<sup>th</sup> Ed. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1996. 851 p.

WATSON, J. D.; BAKER, T. A.; BELL, S.P.; GANN, A; LEVINE, M.; LOSICK, R.  
**Molecular Biology of the Gene**. 6.<sup>th</sup> ed. San Francisco: Pearson Education, 2006. 841 p.

WEBOMETRICS. **Ranking Web of World Universities: 2011**. Disponível em:  
<<http://www.webometrics.info>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

XAVIER, M. C. F.; FREIRE, A. S.; MORAES, M. O. A Nova (moderna) Biologia e a  
Genética nos livros didáticos de Biologia no Ensino Médio. **Ciência e Educação**, v. 12, n. 3,  
p. 275-289, 2006.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 88 p.

ZIMAN, J. **Enseñanza y aprendizaje sobre la ciencia y la sociedad**. México: Fondo de  
Cultura Económica, 1985. 243 p.

**APÊNDICES**

**APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre Esclarecido utilizado nas  
entrevistas de São Paulo (SP)**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (T.C.L.E)

Eu, \_\_\_\_\_,  
RG \_\_\_\_\_, professor da Escola \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_, estou sendo convidado a participar de um estudo denominado Conhecimentos de Genética nos livros didáticos: aproximações e distanciamentos, cujos objetivos são: 1) investigar quais conhecimentos básicos que os alunos deveriam saber sobre Genética ao final do Ensino Médio, segundo docentes e professores que lecionam disciplinas da área, e 2) verificar como estes conhecimentos estão presentes nos livros didáticos e como se aproximam e se distanciam dos saberes acadêmicos. Deste modo, esta pesquisa se justifica por apoiar-se em pressupostos teóricos e estudos anteriores, os quais consideram que: 1) o conhecimento científico se caracteriza por sua confiabilidade 2) este conhecimento deve contribuir para a constituição do saber escolar, utilizando-se para isto a transposição didática; 3) os livros didáticos são grandes determinantes dos conhecimentos de ciências que são ensinados na escola; 4) estudos recentes se preocupam com as concepções e dificuldades dos estudantes sobre os conhecimentos de Genética; 5) os conhecimentos de Genética são centrais no ensino de Biologia e estão presentes na vida cotidiana.

A minha participação no referido estudo será no sentido de conceder uma entrevista na qual esclarecerei minha opinião sobre quais conhecimentos os alunos deveriam saber sobre Genética ao final do Ensino Médio.

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome não constará na tese e nas possíveis publicações que dela decorrerem. Serei reconhecido pelo código P01, sendo, portanto, identificado apenas pela apresentação do presente documento, o qual permanecerá arquivado com o professor orientador responsável pela pesquisa, podendo eventualmente ser apresentado em caso de solicitação de prova da autenticidade dos dados coletados.

Também fui informado de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem necessidade de justificativa, e que, se desejar interromper minha participação na pesquisa, não sofrerei qualquer prejuízo.

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são Fernanda Franzolin, aluna de Doutorado, Nelio Bizzo, orientador, vinculados à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo e apoiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Poderei manter contato com estes pelos telefones: (011) XXXXXXXX, (011) XXXXXXXX ou (011) XXXXXXXX, e pelo e-mail xxxxxxxx@xxx.br.

É garantido o livre acesso a mim a todas as informações originadas de minha participação, sendo possível solicitar esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, e tudo o mais que eu queira saber antes, durante e depois da minha participação.

Tendo sido orientado quanto ao teor de tudo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

---

São Paulo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2008.

**APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre Esclarecido elaborado utilizado nas entrevistas de Kalamazoo (Michigan)**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (T.C.L.E)

(Freely given and informed consent terms)

I, Dr. \_\_\_\_\_, Western Michigan University professor, am being invited to participate in a study about Genetics Instruction School Science: Laxity x Rigor in Biology Textbooks.

The aim of this study is to determine the opinions of university professors regarding what genetics content should be taught at the high school level.

In this study I will participate as an interviewee, giving my opinions about what genetics content should be taught at the high school level.

The interviewer informed me that:

1. I can refuse to participate in the interview.
2. If I do participate, my name will not be published in any way.
3. At anytime during the interview I am free to ask for additional information about this study.
4. I understand that I will not be compensated for my participation in this interview

The researchers involved in this project are:

Ms. Fernanda Franzolin, Universidade de São Paulo PhD Student.

Phone numbers:

xxx xxx xxxx (EUA)

xx xx xxxx xxxx (Brazil)

xx xx xxxx xxxx (Brazil)

Dr. Nelio Bizzo, Universidade de São Paulo Professor.

Phone number:

55 11 3091 3099 (Brazil).

This study is funded by Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) .

As I know about the content of this document and I understood the aim of this research, I agree on participating in this interview.

---

Kalamazoo, February 1<sup>st</sup>, 2010.

**APÊNDICE C – E-mail enviado aos entrevistados de São Paulo**

Prezado Prof. \_\_\_\_\_

Envio-lhe antecipadamente este e-mail para adiantar-lhe a questão norteadora da entrevista que será realizada dia \_\_/\_\_/2008 às XX:XXh. Espera-se, deste modo, que o conhecimento prévio do assunto que será tratado possibilite ao entrevistado mais tempo para refletir e buscar uma resposta que realmente expresse sua opinião sobre a questão.

A entrevista será norteadada pela seguinte questão:

Considerando-se o Ensino de Genética como importante para a formação de cidadãos críticos, em sua opinião, quais os conhecimentos básicos de Genética que os alunos devem saber até o final de seu Ensino Médio. Pedirei a gentileza de justificá-los.

Segue em anexo o Termo de Consentimento Livre Esclarecido, o qual levarei impresso e documentará seu consentimento em colaborar com a presente pesquisa.

Agradeço muito sua disponibilidade,

Fernanda Franzolin

Aluna de Pós Graduação – Doutorado

Universidade de São Paulo

Tel. XXXXXXXX ou XXXXXXXX

**APÊNDICE D – E-mail enviado aos entrevistados de Kalamazoo**

Dear Mr...

I am sending you the main question for the interview so that you can have more time to think about an answer that really expresses your opinion.

The questions are:

Which basic topics should students have about Genetics in High School to become a critical citizen? Why are they so important?

Please find attached a document about your participation in the interview. I will print it, but I think that it is important that you have such information before.

Thank you for your attention!

Fernanda

## APÊNDICE E– Transcrição das entrevistas

Transcrição das entrevistas com professores que ensinam Biologia do Ensino Médio e Docentes que lecionam Genética e Biologia Molecular na Universidade sobre suas opiniões a respeito dos conhecimentos básicos que os alunos deveriam saber sobre Genética ao final do Ensino Médio.

### PB1

(00:02:30) E: Para o aluno se tornar um cidadão crítico quais são os conteúdos de Genética que são importantes, quando eu falo de Genética eu falo tanto da Genética Clássica quanto a Nova Genética que inclui a Biotecnologia, a Genética Molecular. O que desta gama de conteúdo é importante para quando o aluno sai do Ensino Médio se tornar um cidadão crítico?

(00:03:00) PB1: Do Ensino Médio quando você fala da importância vêm muito, assim o DNA, a parte do DNA é importante ensinar, quando eu entro na primeira lei de Mendel, na segunda lei de Mendel eu acho isso importante. Para eles é uma matéria mais chata, para eles é mais cansativo, quando você chega na parte de cruzamento, então para eles é tudo muito complicado. Mesmo por que entra Matemática e você tem que ter a porcentagem, probabilidade, então fica um pouco mais por que eles dizem assim “eu nunca vou usar, então não vou aprender”. Aí, quando chega na parte de Genética fica meio complicado quando chega na primeira lei de Mendel, na segunda. Para o dia-a-dia, a questão do DNA, eu acho muito importante, a parte molecular também.

(00:03:51) E: O que seria importante falar sobre DNA para eles? Porque o conteúdo de Genética, hoje em dia, está

(00:04:01) PB1: [(É está bem amplo).

(00:04:02) E: cada vez mais] se expandindo. Então, o que seria básico, o que ele não poderia sair daqui não sabendo?

(00:04:06) PB1. A questão do DNA, primeiro eu gosto de falar porque assim primeiro eles são pais e mães muito cedo ((risos)) então eu acho importante você estar falando, e pelo fato

também das doenças que estão aparecendo, por que estão aparecendo as doenças, então eu acho importante ensinar DNA por causa disso.

(00:04:41) E: Por que seria importante o aluno aprender a primeira e a segunda lei de Mendel?

(00:04:50) PB1: Por que é uma parte do cruzamento, tem que ensinar o cruzamento. Então, eles têm que saber as características deles, porque, então, eu acho que isso é importante.

(00:05:35) E: Como você faz este gancho do DNA com o aparecimento de novas doenças?

(00:05:46) PB1: Eu trabalhei muito tempo na área de saúde também. Eu trabalhei 20 anos na área de saúde. Então, dá para eu puxar uma coisa ou outra. Nas revistas vem muito esta questão do DNA, do porque estão aparecendo novas doenças, o que estão fazendo de pesquisa em relação à doença, se a herança se puxa de uma família que já tem.

(00:06:25) E: Você disse que eles são pais muito cedo. Qual seria então a ligação de eles saberem Genética por este motivo?

(00:06:35) PB1: Realmente eles são pais muito cedo e aí falam assim: “o filho não é meu”. Eu falo que hoje não há como não saber que não é seu filho. Eu falo para eles que hoje não tem como você dizer que não é o seu filho. Nem que seja pelo fio de cabelo você vai provar que o filho é seu. Eu entro na sala e eles perguntam assim: “professora como que prova que a senhora é loira?” Eu falo, aqui não, aqui é adquirido. A gente brinca. Mas a questão do DNA, eu acho que é importante eles saberem que uma consequência deles o DNA vai provar. Tanto que eles brincam que antes tinha o programa do Ratinho que fazia DNA. Agora eu falo: “Agora não tem mais Ratinho não, você vai ter que gastar o seu dinheiro”. A questão do DNA eu acho importante por causa disso. Você termina trazendo uma coisa do dia-a-dia deles, porque não adianta você estar só em cima dos livros e você não falar do dia-a-dia deles. Você tem que voltar a aula para o dia-a-dia deles, o que eles estão vendo, porque eles estão vendo isso, como é importante ele estar vendo.

(00:07:45) E: Quando você faz este *link* com o dia-a-dia deles o que acaba entrando neste *link*, o que é importante entrar, o que não pode ficar sem entrar neste *link*?

(00:07:50) PB1: Essa parte de transgênicos. ((pausa)) Ah! Eu brinco com eles: às vezes você vê um tomate grande é importante ele saber que teve um cruzamento. Isso é importante para eles.

(00:07:50) E: Então, a parte dos transgênicos, você falou dos testes de paternidade, tem algum outro conteúdo que você relaciona à esse dia-a-dia que você acha que é importante ele saber,

que você sempre dá porque você acha que é essencial o aluno saber para ele se tornar um cidadão crítico?

(00:08:40) PB1: Agora não estou lembrando não. Agora neste momento não. Eu sempre falo para eles que os ratos terminam sofrendo, os animais terminam sofrendo. Para fazer uma descoberta tem que estar sempre usando os animais, por que a gente usa os animais para fazer pesquisa, termina às vezes injetando algum tipo de substância. Eu sempre comento isso com eles assim.

(00:09:16) E: Então, deixe-me ver se eu entendi bem. Na sua opinião sair daqui sendo um cidadão crítico, que saiba opinar, é importante que ele conheça basicamente a 1<sup>a</sup>. e a 2<sup>a</sup>. Leis de Mendel, o que é o DNA, como este DNA está interligado com as doenças (...).

(...)

(00:10:15) E: Você falou também de conteúdos relacionados ao cotidiano como transgênicos e teste de paternidade, teria mais alguma coisa que você julgaria que é importante?

(00:10:40) PB1: Eu sempre comento com eles, quando está na parte dos cromossomos, eu falo para eles a probabilidade de nascer do sexo masculino e do sexo feminino, quem dá esta probabilidade, geralmente é o pai por ele ser X e Y, a mãe é geralmente X e X. Então, eles falam: “então, vamos fazer o nosso, vamos fazer o meu”.

(...)

(00:14:01) E: Você gostaria de completar com alguma coisa que você de repente lembrou?

(00:14:07) PB1: Uhn uhn ((balançou a cabeça negativamente))

(...)

## **PB2**

(00:01:13) PB2. Aí eu vi que na tua pergunta, assim, a que você mandou, tinha essa questão do ENEM aparecendo ((o professor está se referindo à justificativa apontada para a inclusão de sua escola dentro da amostra, mencionada no primeiro *e-mail* a ele enviado, buscando convencê-lo da importância de entrevistá-lo)). Por que eu acho que isso vai fazer um pouco de diferença, porque, assim, isso molda um pouco a possibilidade de resposta. Por que, assim: que escola que eu estou dando aula? Eu estou dando aula numa escola que atende um público

que tem como expectativa a universidade, tá? Não é uma escola que prepara os alunos para o vestibular, assim: nosso enfoque é o vestibular. Nosso enfoque é também o vestibular. A gente acha que tem que dar oportunidade para esses alunos escolherem inclusive o vestibular. Mas não é só para isso que a gente dá aula. Então, se eu tiro essa questão do vestibular eu vou falar de outros assuntos, entendeu? Eu sou professor de primeiro ano. O primeiro ano tem um curso de uma série de objetivos que transcendem um pouco o vestibular ou o ENEM. São objetivos de primeiro ano para essa escola. Essa escola coloca algumas metas para o primeiro ano do Ensino Médio. Esse aluno ele vai lhe dar ao longo do Ensino Médio com uma carga conceitual muito grande. (00:02:28) Então, ele precisa aprender a estudar. Algumas coisas ele já aprendeu no Ensino Fundamental, outras não. A gente também recebe muitos alunos de outras escolas. Então, eu preciso garantir que esses alunos aprendam a estudar. A carga de conteúdo que eu trabalho no primeiro ano é muito pequena comparada com as outras séries porque eu vou gastar tempo ensinando a anotar no caderno, a analisar gráfico, coisas que depois eu posso despejar enxurradas de conteúdo e esse garoto ele consegue lidar com isso. Ao estudar para minha prova, como ele deve proceder para estudar? O que é estudar? Então, tudo isso vira conteúdo do primeiro ano do Ensino Médio. Por isso que eu falo que a pergunta “qual é o conteúdo importante de Genética para ensinar para o aluno do Ensino Médio, eu falo que dá para relativizar bastante. Então, eu vou contar um pouco nesta escola, qual foi o critério que eu utilizei para a escolha desses conteúdos, mas focando muito mais como não preocupado muito com o vestibular, ou com essa organização que a gente tem do currículo aqui. (00:03:29) Aqui na escola também, no Ensino Fundamental, a gente não tem nenhum pré-requisito. Então, assim: eu não espero nada do meu aluno do Ensino Fundamental. Eu espero que ele tenha procedimentos resolvidos, determinadas competências que ele tem que ter para registrar dados, lidar com linguagem matemática. É muito mais de habilidades do que de conteúdo. Então, eu não trabalho com a ideia de que ele já teve uma ideia de reprodução humana no ano. E tanto que meu curso começa com Ecologia, que é aquele curso que menos exige conhecimento de pré-requisito. No segundo semestre eu tenho uma ruptura e começo um curso novo que é o curso de Genética. É um curso que a gente trouxe para o primeiro ano, também, por isso, por que ele mexe com capacidades abstratas. Eu estou lidando com um mundo de modelos abstratos que o aluno não consegue visualizar. (00:04:39) Então, eu precisava causar essa ruptura de algo extremamente visível concreto, descrição de biomas, para algo que ele não consiga imaginar ainda, já que eu preciso ensinar uma série de

habilidades para ele também nesse primeiro ano. Eu vou começar a responder a pergunta agora. Então, há uma série de conteúdos que a gente – a gente, quem somos nós: a coordenadora de Ciências, que é uma professora de Física que cuida de todos os professores de Ciências, eu e o professor de Biologia do segundo ano e do terceiro. Mas a gente, assim, como não tem essa questão de pré-requisito, então eu fico até bem livre para eu ensinar o que eu quiser dentro do curso de Genética. Eu tenho um objetivo básico que eu falo que é fundamental, um aluno meu vai sair daqui sabendo, ele vai ter que olhar para dados de um problema e desse dado conseguir propor um modelo de herança compatível com esses dados. Então, eu vou apresentar ao longo do curso vários modelos de herança para ele, de padrões de herança, só para dar repertório para ele, para ele ter alguma coisa para enxergar naqueles dados. Mas a principal ideia, por exemplo, ele não precisa saber nenhum padrão de herança de nenhuma doença de nenhuma característica. Sempre numa avaliação ou numa prova eu vou dar dados para ele. E a ideia é que ele elabore uma hipótese e consiga até avaliar se essa hipótese é compatível ou não com esses dados. Então, isso vai desde o primeiro dia de aula de Genética até o último dia de aula de Genética. Eu nunca lido com eles com regras de herança no enunciado. Eu nunca falo assim: essa doença segue a primeira lei de Mendel. (00:06:31) Não. Isso ele vai ter que perceber a partir de dados ou que estão disponíveis em tabela, gráficos, desenhos, e isso eu martelo bastante. Então, isso resume muito o curso, porque o que você precisa ensinar de Genética? Bom qualquer coisa. Eu posso dar aula de qualquer coisa. Se eles me dão 20 aulas em um bimestre, eu posso inclusive chegar a discutir epistasia. Se não, se me dão 15 aulas eu deixo epistasia de lado, mas ele vai conseguir analisar isso e falar: “Nossa tem alguma coisa errada aqui, que eu não consigo explicar esses dados”. E aí ele vai precisar de pouca coisa para explicar isso. Então, esse é o principal motivo do curso de Genética que é o aluno elaborar hipóteses a partir de dados relacionados a padrões de herança. E aí eu trouxe aqui, devo até deixar contigo depois, que são alguns descritores que agente utilizou para a prova de recuperação. (00:07:32) Então, é assim, se eu enxugasse o curso de Genética do semestre o que ele teria que saber. Então, é elaborar e avaliar hipóteses a partir desses dados que podem estar disponíveis em diferentes fontes de informação. Aí uma coisa que eu coloquei também como importante para o curso é que ele conseguisse calcular probabilidade de fenótipos e genótipos específicos, como é quase que um... é esse o problema que ele tem para resolver em Genética. O que a cultura biológica, assim, a cultura científica produziu disso. Aí a chance de previsão. Só que uso essa chance de previsão não muito

matematicamente. Tanto que eu brinquei com eles, eu falei assim: “Você pode chutar sempre 25 ou 75% que é sempre a resposta certa”. Mas eu coloco uns problemas assim: que eu não sei a probabilidade de um pai, que eu tenho que olhar para a do avô, ele tem que olhar como a probabilidade se insere naquilo. E vou mostrando exceções, então, quando os genes estão ligados, por exemplo, aí ele não vai poder usar aquela relação tão fácil que ele usaria. (00:08:46) É quase que para ter algo para testar os alunos para verificar. É o melhor modelo que a gente tem, eu acho de cálculo de probabilidade para ver se ele entende esta questão dos padrões de herança. Se ele tem essa lógica abstrata bem desenvolvida ao longo do curso ele consegue calcular probabilidade. Aí eu apresento para ele também os modelos de divisão celular, sem falar nada de fase. A gente faz aquelas atividades com massinha para ele entender como o comportamento dos cromossomos permite um cálculo de probabilidade daquele. Apresento um, aqui eu coloquei, vocabulário específico, por que eu quero que ele use um vocabulário específico da área, porque se eu quero que ele colete dados muito bem, ele vai ter que saber uma linguagem adequada para compreender esses dados. (00:09:43) Então, os dados não vão aparecer do jeito que ele gostaria que aparecesse. Então, ele é que vai ter que enxergar que homocigoto significa isso, que haploide tem esse significado. Eu falo para eles que é uma parte chata, mas que é necessária para qualquer área. Você tem que saber o nome das coisas. Então, nas primeiras aulas eu vou simplificando bastante, bastante, e aí eu apresento o mapa de conceito para eles para eles terem familiaridade com esses... conceitos mesmos. E na prova eu nunca vou perguntar, eles sabem disso, eu nunca vou perguntar o que é. Ele nunca vai precisar definir aquele conceito mas no texto aquilo vai aparecer sem preocupação. Então, se eu coloquei essas palavras na prova, eu não tenho que explicar isso para o aluno. Ele tem que saber isso. Então, eu faço isso ao longo de todo o curso de Genética que dura um bimestre e meio. Aí os padrões de herança que eu costumo dar eu não acho que eles são fundamentais, tá. É que são os modelos que eu uso pelo tempo que eu tenho. Eu tenho muito tempo até com esses alunos, eu tenho três aulas semanais cada uma de 75 minutos. (00:10:53) Então, eu tenho a possibilidade de trabalhar muitos padrões de herança com eles e é um grupo de alunos que lida muito bem com essa cobrança. Para eles não é novo eu mostrar coisas tão diferentes, assim eles estão acostumados com isso. Então, em uma aula eu dou epistasia e aí eles estão prontos para na próxima aula trabalhar com herança quantitativa. Eles não vão precisar de um mês para aprender aquilo. Então, eu vou ir bem rápido com esses conteúdos. Então, eu dou as leis de Mendel, tanto que Mendel aparece no

meio do meu curso, ele aparece na primeira aula, mas sem nenhuma lei, sem nada, só aparece como foi o trabalho dele. Aí eu vou para a Genética Humana, então vou falar de codominância, alelos múltiplos, alelos letais, aí eu vou para vários genes. Falo de interação gênica, falo epistasia, herança quantitativa, falo de herança ligada ao sexo, herança mitocondrial, falo de genes ligados também. (00:10:58) Não falo de *crossing over*. Esse ano, por exemplo, eu não falei. No ano passado eu até falei. Mas eu optei por não falar em *crossing over*. E qual é a minha tranquilidade em fazer essa opção, assim é algo bem arriscado, porque se eu lhe falei que um dos enfoques é também o vestibular, ele vai ter que... isso pode cair no vestibular. Mas é que agente aqui na escola tem a aula de Biologia no primeiro ano, no segundo ano, no terceiro ano também e no segundo semestre do terceiro ano ele tem revisão. Então, eu falo, ali já é um aluno que sabe aprender coisas em meia hora. O tempo que eu gastaria para falar de *crossing over* com eles seria muito grande no primeiro ano, mas no terceiro, meia hora eu consigo discutir bem isso. Então, eu não falo nada de *crossing over*, deixo para o professor do segundo e do terceiro falar, quando for falar de divisão celular de novo, que daí ele vai focar mais as fases, como ele vai discutir o núcleo com mais calma ele pode falar das fases, pode falar em que momento aquilo acontece porque eu preferi trabalhar com algumas bases, estruturar melhor essas bases. Então, eu não falei de *crossing over*. O que mais que eu não falei? Acho que só isso que eu não falei. O resto eu falei tudo. Ah! Codominância por exemplo e dominância incompleta eu não faço diferença alguma para os alunos, porque não é algo que ele consegue enxergar ali nos dados, né? (00:13:29) Ele vai muito pelo fenótipo e é um nome só que ele vai dar e eu não vou me preocupar muito com esses nomes. Outra coisa que eu também não... ah! penetrância, esses conceitos que eu acho que até... penetrância é um conceito super interessante para os alunos, mas eu falo assim, fica um pouco mágico, a característica ela vai se manifestar ou não. Por que? Por que ele ainda não sabe qual é a relação entre fenótipo e genótipo. Ele sabe ali, eu discuto questão de genes com eles, comportamento, mas ainda é mágico. Como aquele alel/... o “azinho” vira uma... um toque, um problema psicológico assim. Ele não vai fazer ideia disso. Então, eu acabo essa parte de Genética básica, clássica e vou para uma parte molecular que como conteúdo básico seriam as moléculas, o DNA, a proteína e o RNA e o processo de duplicação e síntese de proteína. Essa parte eu falo que é até bem rápida por que é narrativa e tudo mais, mas aí eu faço uma coisa que é voltar para a Genética Clássica. A gente revisita todos os problemas de Genética, mas olhando agora com as proteínas. (00:14:42) Então, é um curso quase que de

Bioquímica. Tá eu tenho a coloração branca, a coloração vermelha e a rosa no caso de codominância. O que aconteceu ali que determinou uma cor intermediária? Ah! Então, 50% de proteína o gene é... por que para eles existe a cor branca uma cor, existe a cor rosa, existe a cor vermelha e eu falo não é uma proteína que reflete o vermelho, pouca proteína fica parecendo branco, nada de proteína é o branco, 50% em torno disso é o rosa. Então, eles começam a desenhar ali uma estrutura de qual é a relação do genótipo com o fenótipo, né? A gente chega a um ponto de falar de epistasia, então assim, como uma proteína vai inibir o efeito da outra. Então, eu mostro vias metabólica para eles e aí eles começam a propor: onde o gene pode estar atuando. Então, assim: o gene deve produzir que proteína para dar esse padrão de herança do labrador, que é um caso que está ficando clássico no Ensino Médio, que tem um precursor que gera um outro precursor que vai dar dois tipos de melanina. (00:16:00) E aí eu falei assim. A gente estudou o caso do labrador, a herança, então aqui estão as proteínas envolvidas com isso. Onde deve estar o gene A e o gene B nessa história. Aí os meninos conseguem falar: “Olha, tanto faz o que eu vou ter aqui vai ser sempre dessa primeira cor”. E eu falo que essa é uma capacidade cognitiva muito sofisticada, não importa se ele sabe definir o que epistasia ou não. Ele consegue trabalhar com dados ali, com modelos... modelos abstratos de uma maneira bem consistente. Tanto que depois o que ele precisar para o vestibular ele aprende rápido, sabe, assim é mais fácil aprender essas palavras, essas coisas porque eu já tenho uma rede conceitual bem resolvida. E falo também no final de Biologia Molecular sobre as tecnologias, eu faço essa opção por deixar pro final para poder discutir de verdade. (00:17:14) Mas algumas coisas eu joga no começo. Então, por exemplo, quando eu quero falar de conceitos muito básicos de Genética, eu falo de clonagem. Eu vou lá e dou uma lista para eles de nomes de clones e falo, a lição de casa para a próxima aula é construir uma tabela comparando esses clones. Então, eu listo ali uma dezena de clones e falo que eles têm que comparar qual célula que deu origem, que ano que foi a clonagem, que país aconteceu. Eles vão para o Google digitam tudo isso e vão descobrindo as coisas. Aí eles voltam com a lição de casa e a gente discute: “Porque eu posso pegar qualquer célula para fazer um clone?”, “Ah, porque todas elas tem o mesmo material genético”, “ Até a do olho vai ter característica da orelha?” ... daí eles começa a discutir isto. Mas para isto, então, eu mostrei o que era um clone. Então, eu começo essa aula falando: “Olha, então eu pego o núcleo, tiro o núcleo, faço isso”, trabalho com a ideia de haploide e diploide usando esse tema da clonagem, mas teste de DNA por exemplo eu deixo lá para o final. Por que aí eles já sabem de proteína, eu já posso

falar o que é uma enzima de restrição sem virar uma coisa mágica. Ele já conheceu a molécula de DNA, ele sabe avaliar o que significa o tamanho dela, ela em pares de bases.

(00:18:37) E: Deixe-me ver se eu entendi bem, os temas atuais da Genética vão surgindo entrelaçados?

(00:18:45) PB2: É. Mas assim, o lugar deles é o final do curso. Só quando eles se justificam lá no começo, eles podem ser um bom princípio de assunto, eles passam para frente. O lugar deles, na minha opinião, no meu curso é o final, que é quando a gente vai aplicar vários desses conhecimentos básicos. Transgênicos eu comecei a falar com eles no último dia de aula. E eu pensei até que eu teria mais aulas e falei: “Ah, então eu vou poder aprofundar mais”. Não, mas consegui trabalhar o básico. Agora o da clonagem foi lá no primeiro dia, na primeira semana de aula e foi bem superficial, mas eu usei para trabalhar algumas coisas básicas, que eu queria trabalhar com eles. E não voltei à clonagem no final. Dei herança mitocondrial no meio do bimestre, mas aí eu volto para falar de clonagem. Então, assim, não tem muito lugar definido, mas assim, se eu tivesse que falar em que lugar ele fica, fica no final mesmo do meu curso. Mas pode aparecer no começo, no meio, quantàs vezes forem necessárias.

(00:19:50) E: Então, eu percebi que você parece que tem bastante tempo, tem uma grande disponibilidade e consegue trabalhar uma grande variedade de conteúdos. O que você acha, se fosse diferente...

(00:20:11) PB2: Se tivesse uma aula, né?

(00:20:12) E: se fosse diferente este aluno não ia sair daqui um... o que isso ia influenciar na vida dele?

(00:20:22) PB2: Eu vou te contar de uma outra experiência que não têm nem relação com a escola diretamente. Eu fui convidado para fazer esse material da ... ((refere-se ao nome da rede de ensino pública para a qual o material foi elaborado))... e o módulo que eu peguei, o tema que eu principalmente... era o de Genética. Então, eu lido com essa realidade que eu te falei dos 75 minutos, mas eu lido também com a produção de material que vai nortear o currículo de escolas públicas de Biologia, em assim, três encontros semanais de 50 minutos, dois, dois encontros de 50 minutos ao longo de oito semanas. Então, a carga didática despenca. Eu tenho 16 aulas. Aqui eu tenho 52, entendeu? É numa realidade muito diferente. Como eu te falei eu posso trabalhar aqui tudo correndo com meus alunos, eles têm esse ritmo, mas eu não posso falar isso de todas as escolas... ((da referida rede)). Então, ali eu tive que enxugar, falar o que no mínimo um aluno no Ensino Médio deveria aprender sobre isso. Aí eu

falei: “Eu não posso fazer diferença, falar assim: ‘o meu aluno faz isso mas esse outro pode se contentar com menos’”. Eu tentei enxugar, falar assim: “Qual é o essencial disso tudo que eu ensino”. E aí é a mesma coisa: elaborar hipóteses a partir de dados sobre padrão de herança e relacionar comportamentos dos cromossomos a isso. Só que aí invés de mostrar todos os padrões de herança que eu tenho, que eu conheço, eu vou lá e priorizo alguns. (00:22:03) Então, herança monogênica, segregação independente, não vou falar de genes ligados. Por que ai assim: eu quero aprofundar muito esse conteúdo, não quero aprofundar? Daí vem uma pergunta que você fez que é assim: “Ah! Mas qual é a relevância disso para o cidadão?” Nenhuma. Eu não acredito em um curso de Biologia utilitário. Isso eu não faço aqui na escola e também não fiz na produção desse material. Eu acredito que a Biologia, ela construiu uma produção cultural muito grande, ela construiu muito conhecimento e ela também construiu muita tecnologia. A tecnologia eu não acho tão importante assim. Então, o que isso vai servir para minha vida? Se ele..., eu brincava com isso até na licenciatura, montar um curso de metodologia, eu brincava: “Um indivíduo se reproduz sabendo meiose ou não”. Um indivíduo não vai precisar saber nada sobre meiose, ele vai ter duzentos filhos ou nenhum de acordo com outras questões que não passam por um curso de Biologia. (00:23:11) Essa da meiose não serve para nada. Mas se não serve para nada, porque é que eu ainda ensino? Não é porque vai cair no vestibular, porque isso eu joga tudo para o professor do terceiro. É porque ensina uma maneira de pensar. Uma maneira de pensar que eu acho que essa sim é muito útil para a pessoa. Essa ideia dos dados, elaborar um modelo explicativo. Se a gente conseguisse que metade da população do Universo fizesse isso a situação seria outra. Não é algo tão óbvio. Para a gente que fez Biologia é banal isso, não dá para pensar diferente. Mas não é, óbvio. Então, como objetivo principal é que o aluno aprenda no curso de Genética a produzir modelos explicativos a partir de dados no caso de genética sobre herança. Para que serve isso? Para nada. Só para ele estruturar uma forma de pensamento que é compatível com o pensamento da Ciência e que é útil para a vida dele, até para ele se defender do uso da informação científica. (00:24:19) Mas eu não consigo te falar que eu ensino transgênicos para os meus alunos, ou para um aluno que tem uma aula só..., até no curso da ((menciona a rede pública de ensino referida)) eu tenho um volume só sobre transgênicos, não porque esses alunos vão consumir ou não transgênicos, mas porque eles são um bom exemplo de como lidar com argumentos científicos ou não científicos. E como eu acho que entender a argumentação científica ou não científica é importante para o cidadão comum, aí eu vou lá e

uso transgênicos. Não porque o conteúdo em si é relevante para o cidadão, mas ele é um bom caminho para isso.

(00:25:01) E: Não sei se entendi bem, mas para você o mais importante seria o desenvolvimento das habilidades...

(00:25:09) PB2: Cognitivas

(00:25:11) E: ... do que o conteúdo em si que ele está vendo.

(00:25:14) PB2: É. É. É lógico que dentro da Genética eu não vou conseguir desenvolver com eles, por exemplo, tão bem a descrição, que é uma coisa importante conseguir descrever. Descrever o mundo a realidade. A Genética não é o melhor assunto para isso. No que ela é boa? Nessa questão dos modelos abstratos, nos dados matemáticos, coisa que em Ecologia não tinha. Eu não tenho tanta conta para fazer em Ecologia. Em Genética é bom que eu consigo sofisticar isso. Ecologia é boa para descrever coisas. Então, eu sei que a Genética ela me favorece nesse campo. Ela me favorece em outros campos também. Ela vai motivar muito mais os alunos que vão lidar com questões pessoais. Mas pensando assim: “Por que escolher esse?”, é porque estrutura o pensamento dos meus alunos. Estrutura o pensamento dos meus alunos e de qualquer outro aluno, se bem utilizada.

(00:26:09) E: Então, na sua opinião, por exemplo, os conteúdos de Genética eles vão ou não ajudar, por exemplo a compreender temas que estão aparecendo atualmente na mídia, que estão sendo discutidos, tipo células-tronco.

(00:26:26) PB2: "Eu vou falar o porque eu acho que não, tá? Se bem que eu poderia responder sim, também. Quando a gente fez Ensino Médio não tinha nada disso. Não é por isso que eu me sinto menos capacitado a pensar sobre isso. Sobre células-tronco, que teve o debate, pouco tempo atrás no congresso sobre isso, no Supremo Tribunal, quem ali tinha plena formação no assunto? Então, quando chamavam o especialista, chamavam o especialista que sabia muito bem daquela técnica. Mas não chamavam só o especialista. Chamavam uma série de outras pessoas. O cidadão comum que está assistindo TV e ouvindo tudo isso, o que ele precisaria saber para entender tudo aquilo. Ele precisaria saber muitas coisas. Só que aí se eu for falar tem células-tronco, tem transgênicos, tem teste de paternidade. Por exemplo teve o caso do Pedrinho, daquele menino que foi sequestrado quando bebê, e aí a irmã dele também foi sequestrada, e descobriram isso pegando a bituca de cigarro dela, sem autorização dela e fizeram o teste de DNA. (00:27:38) E falaram: “como fazer teste de DNA de bituca de cigarro?”. Então, eu precisaria falar que também um cidadão médio precisa saber disso. Ele

também precisa saber de DNA de interferência que é algo que a gente ainda não sabe mas que está acontecendo e que vai aparecer. Então, se eu penso em uma rede conceitual mínima necessária eu sempre estou devendo alguma coisa. Então, eu resolvi me desapegar a essa rede, falar “não é isso que eu preciso”. Então, eu decidi me desapegar dessa rede. (...) Para um cidadão comum acompanhar bem a cultura produzida pela Ciência, ele precisa entender a lógica de funcionamento da Ciência. É uma lógica que não acredita, por exemplo, na verdade absoluta: “Olha existe uma verdade e eu estou aqui para defende-la. Porque aí, quando ele ouvir o discurso da cientista ele vai falar assim: “Ah, ela está se baseando em que para falar isso?”. “Em dados”. “A moça do lado dela está falando do que ela acha que é vivo e o que não é”. “Essa é uma pergunta que pode ser respondida pela Ciência?” “Não, não pode.” (00:28:47) “Então, o que a Ciência pode contribuir nesse assunto?” Eu prefiro que ele consiga fazer essa diferenciação. E para ele fazer essa diferenciação eu tenho que passar por essa estrutura de pensamento. Eu não posso também ficar só num blabablá filosófico sobre Ciência porque tem gente que coloca a Filosofia da Ciência como conteúdo: “Então, no curso de Genética eu vou ensinar Filosofia da Ciência”. Eu já tentei fazer isso e fui bem pouco bem sucedido. Então, eu estava falando aqui sobre Mendel, daí eu fui falar sobre DNA e um dia eu dei uma aula sobre os modelos na Ciência. E aí eu vi que os alunos continuavam mostrando na prova ideias de que descobriram o DNA, de que descobriram as leis de Mendel. E aí eu resolvi me desapegar, falar: “Não, não dá para falar sobre isso, eu tenho que vivenciar isso”. Então, hoje, eu falo assim com eles: “Mas, espera aí. Quem está vendo isso que o Mendel está falando? Dá para enxergar o ‘azão’ e o ‘azinho’?” “Não”. (00:29:53) “Então, o que é isso que ele está vendo?” “Ah, é uma ideia dele”. “Mas uma ideia que funciona, será que não existe?” “Não. Não existe. Foi existir somente muito tempo depois”. A gente fez aqui na escola uma avaliação agora. Uma avaliação quase que externa. A gente pegou algumas questões de outros lugares para avaliar habilidades sobre Ciências de temas que eles não trabalharam. Então, tinha uma questão falando sobre microbiologia, perguntando por que um pesquisador há muito tempo atrás não podia supor que era uma bactéria que estava causando a doença. É porque ainda não tinham inventado a bactéria. Não existia um repertório conceitual que permitia chegar a essa conclusão. E os nossos alunos não foram tão bem quanto a gente esperava, porque ainda para eles, isso que eu conto hoje existe. É um fato. Ainda não é uma ideia. Porque: “Você está querendo me convencer que DNA não existe? Existe sim”. Então, para se projetar em outro tempo é muito difícil para eles. (00:30:55) Talvez eles consigam

daqui a uns dez, vinte anos. Eles têm quinze, quando eles acabarem a faculdade, talvez eles consigam projetar essa ideia bem. Por hora é difícil, e eu decidi que eu não falo mais sobre isso. Eu falo durante as aulas, eu demonstro isso, mas não sistematizo, porque não é porque ele teve uma boa aula sobre Filosofia da Ciência que ele vai aprender a ler Ciência de uma boa maneira. Na minha fala, na maneira que eu uso, eu estou impregnando este aluno de ideias. Então, se eu falo: “Aí ele foi lá e descobriu essa lei” eu já estou falando “Olha, ele achou essa lei em algum lugar”. Eu não eu falo: “O que o Mendel inventaria para explicar isso? O que você inventaria?” “Ah, imagina aí alguma coisa para explicar essa via metabólica”... porque aí eu estou impregnando os alunos com uma outra visão de Ciências. (00:31:47) Até nas provas eu pego e falo lá: “Inventa. Só que você vai ter que sustentar a sua invenção com esses dados que eu coloquei aqui”. Ou, quando eles falam: “Ah ((nome do professor)), eu peguei uma tabela sua e fiquei lendo dado por dado”. Eu falo: “Não é assim que funciona, você tem que ter uma ideia na cabeça. E você vai tentar localizar os dados que se comportam de acordo com sua ideia”. Eu estou mostrando para ele que na Ciência eu tenho antes uma teoria. Depois ou vou lá e olho os dados que se comportam de acordo com a minha teoria. Então, eu falo que assim eu consigo modelar muito mais a visão de Ciência desse aluno do que eu ficar definindo isso com ele.

(00:32:23) E: Eu já conversei com pessoas que achavam, por exemplo, que se você der só a Genética Clássica e um pouquinho de Biomol, esse básico já seria suficiente para quando ele se deparasse na sociedade com um tema novo ele já seria capaz de compreendê-lo. Você acha que não, que não bastaria isso e que cada vez mais os alunos iriam precisando de pré-requisitos para entender esses conteúdos.

(00:32:54) PB2: É. Por que hoje eu sei muito bem sobre a molécula de DNA, o que ela me ajuda a falar sobre transgênicos? Eu vou chutar, está bom? Por que, assim, é difícil a gente se colocar nesse lugar. Mas assim. Eu sei que o DNA que eu como é o mesmo que o DNA que eu tenho, que é o mesmo que o porco tem, que a bactéria vai ter. Isso resume a ideia de transgênicos? Não. Eu vou ter que pegar o argumento que eu ouço sobre isso e avaliar: Será que faz sentido o que essa pessoa fala? Então, eu vou tomar suco de clorofila por que vai me dar energia. As palavras científicas. Eu sei que tem clorofila mesmo. Eu sei que clorofila está relacionada com energia, mas faz sentido tomar energia? Ah! Eu vivo de luz solar. Faz sentido isso? Eu poderia falar: “Em Ecologia ele teve que aprender coisas que ‘fala que: olha isso não faz sentido algum’”. Mas ele tem que ver se aquele pensamento, se aquele argumento

faz sentido. Se a lógica de construção daquele pensamento é plausível. (00:34:00) E mais que isso. Quando ele ouvir uma crítica saber avaliar: “Olha essa crítica é melhor que o argumento”. “Ah não. Esse argumento se defende melhor dessa crítica. É muito mais uma estrutura de argumentação que ele precisa aprender, e daí eu volto para a estrutura do pensamento do que o conceito em si. Porque tem muito conceito em Genética. Essa é uma área zicada da Biologia, porque se eu fosse falar assim: “Ah a gente vai descrever a circulação”, a circulação já é a mesma faz algum tempo. A gente até aprende algumas coisas novas, mas é a mesma. Ah, mas não eu vou falar de neurociência, eu vou falar de cérebro. Mas é uma área mais complicada. Genética a gente está no meio do furacão, neurociência até vire um furacão daqui um tempo. Circulação já passou o furacão dela. Mas Genética a gente está no meio disso. Há 50 anos atrás a gente mal sabia que existia o DNA. Hoje ele virou assunto de sala de aula. Eu não tive aula de clonagem. Eu me formei no ano da Dolly. Um ano antes. E meu professor que tava aprendendo comigo no cursinho a falar sobre aquilo, por que ele também não sabia falar sobre aquilo. O que me diferenciava, ainda mais sobre ele, é que ele sabia aprender sobre isso muito mais rápido que eu. É a única diferença. RNA de interferência é a mesma coisa: agente vai aprender junto. Eu brinco que assim: Se clonarem um ser humano, inventarem uma nova técnica de clonagem..., as células-tronco tem um pouco disso, inventaram um nova técnica para células-tronco eu vou ser informado no Fantástico, no mesmo dia que meu aluno. Sabe, assim, então eu vou ter que me diferenciar dele, porque eu sei aprender mais rápido isso do que ele, mas o que ele vai precisar se ele não tiver mais na escola? Eu vou falar: faz sentido isso? Então, eu não me apego mais aos conteúdos e aí eu caio num risco. Quando você for ler isso, você vai falar: “Então, o curso dele não tem nada de conteúdo”. Tem, tem um monte de conteúdo, mas eles só aparecem para resolver problemas estruturais de pensamento. Então, eu não consigo dar um curso de Genética, sem falar... eu... sem falar homozigoto, heterozigoto. Você vai falar assim: “Mas isso é importante para o cidadão comum?”. (00:36:17) Nenhum pouco, mas para o vocabulário específico de Genética que é o que eu estou me aprofundando com eles para desenvolver essa estrutura de pensamento eu preciso dessas palavras. Agora um cidadão comum, precisa saber a diferença entre um hetero e um homozigoto? Não. Eu tive até uma experiência com uma série de profissionais de comunicação, eu estava gravando um programa e falando de heterozigoto, homozigoto, e aí eles começaram a me perguntar sobre isso. Você via que eles já tinham ouvido falar essas palavras na escola, mas eles não lembraram o que era. E aí chegou lá no

meio do programa e eu expliquei para eles e assim supriu as dúvidas que eles tinham. Ou mesmo na novela, no Clone. Todo mundo ficou detonando a novela no último episódio, por que queriam um bom argumento para falar que o clone devia ficar com a barriga de aluguel, e não com o... era barriga de aluguel e doadora de óvulo na Novela. (00:37:16) E não com o pai do material genético. Aí falaram de DNA mitocondrial. Falaram assim. Mas no óvulo, tem a mitocôndria que tem material genético que é da mãe. Então, ela tem direito sobre a prole dela. Só que aí construíram essa frase de uma maneira muito tosca. Falaram: “A mitocôndria é uma célula que tem DNA e que tá só no plasma do sangue da mãe. Aí toda a Biologia, todo o Departamento de Genética ((ele está se referindo ao Instituto de Biociências e ao Departamento de Genética da universidade na qual se formou)) caiu matando falando assim: “É um absurdo falarem isso”. Eu falei: olha, todos os envolvidos com a produção da novela com a criação da novela, com a realização da novela e a maioria da audiência, a maioria não, uma boa parte da audiência tem Ensino Médio completo. E todos não viram problema algum em falar que a mitocôndria é uma célula, que está no plasma da mãe e passa para o filho. Então, se essas pessoas não veem problema por que eu é que vou ficar reclamando, ah: ele teria que saber isso. (00:38:23) Não tem que saber isso, por que não serve para nada. Ela falou um montão de palavras difíceis e isso cumpriu o papel se eu quiser defender um argumento sobre o nome da Ciência, então meu argumento ele vai se tornar científico se eu usar uma palavra difícil. Eu preciso mostrar para o aluno que essa palavra difícil ela tem falhas conceituais, ela tem falhas argumentativas, estruturais. E ele tem que falar: “Ele está falando um montão de coisas que eu não entendo, mas qual é a lógica disso? Ele está se baseando em dados?” “Não, não está”. “Então, eu não vou acreditar nesse cara que está falando só de maneira difícil. Isso até nas aulas de Genética. Assim, quando eu faço algumas atividades falando assim: “Por que você é contra ou a favor dos transgênicos”. E ele fala “Porque a Ciência diz...”. Eu falo: “Que é isso? Não me interessa o que a Ciência diz. Por que a Ciência tem peso, a religião tem outro, a política tem outro e eu vou acreditar no que eles disseram? Vamos aos dados, por que é só assim que na aula de Biologia você consegue conversar comigo. Você tem acesso a esses dados?” Para algumas áreas não. Eu também não vou ficar palpitando sobre essas áreas, né? Acho que isso assim que eu costumo... (00:39:36) Eu trouxe até uma outra coisa, se você quiser me perguntar fica a vontade, mas assim um exemplo de uma prova minha, porque eu posso falar o que eu quiser para você, posso mentir muito bem, mas a prova é que reflete um pouco o curso do professor. Aqui na escola a gente usa muito

essa lógica. Se eu quero te entrevistar e saber como você e como professora eu falo “Me traz uma prova sua”, porque ali você conta o que você tem de mais importante no curso, então sempre que eu vou falar do meu curso, eu imprimo uma prova e falo, deixa eu mostrar, né? Então, aqui nessas duas questões ((aponta para duas questões da prova)), não fala nada sobre o padrão de herança da característica. Eu dou as tabelas e ele que se vire para descobrir isso. Aqui é uma questão adaptada da Fuvest ((mostra outra questão)) que ele dá os fenótipos, os cruzamentos e fala: “Olha, essa hipótese que eu estou apresentando na questão ela serve para explicar isso? Ele vai avaliar se a hipótese é boa ou não. (00:40:37) Dados em heredograma. Aqui há um exemplo de via metabólica, se funciona ou não para explicar. Então, assim: não tem um conhecimento conceitual cobrado aqui tão específico. Essa é a parte dissertativa da prova. Tem também a teste que aí eu posso até perguntar algumas coisas mais conceituais

(00:41:02) E: Então, na sua opinião, os conteúdos de Genética não são essenciais para formar um cidadão crítico. O que é importante para você é o modo como ele vai pensar. É isso?

(00:41:15) PB2: É. E aí eu vou só relativizar essa sua frase, por que ela ficou pesada, eu ouvindo agora o que eu falei eu falei nossa... A Genética é um ótimo conteúdo para desenvolver um cidadão crítico. Ela não é O conteúdo. Ela é um ótimo conteúdo. E se eu for pensar num professor de Biologia, eu sou o cara que representa essa área da Ciência para esse bando de adolescentes, eu escolho a Genética e tudo que ela tem disponível. Mas se a gente cortasse a Biologia do curso, eu ia achar lastimável porque ele ia perder oportunidade de estudar a vida, misturar várias áreas, discutir questões éticas atuais, mas no fundo ele vai conseguir viver bem. Assim, eu vou lamentar, eles não vão ter essa formação que para mim foi fundamental para estruturar a minha vida, mas ele consegue ter essa formação crítica em outras áreas ou em outros conteúdos até.

(00:42:16) E: Na verdade, ela seria como uma ferramenta para formar esse cidadão crítico.

PB2: Sim. É que se a gente apaga a Biologia da vida desse cidadão crítico... é... por exemplo, eu não sei nada sobre futebol esse é até um exemplo que no grupo de pesquisa que eu estou, a gente brinca muito, né? Uma doutoranda lá, ela fala: “assim, para ser brasileiro você precisa gostar de futebol? Não precisa, mas você foi impregnado pela cultura do futebol. Então, você sabe quais são os times, se você sabe... vamos supor que aconteça um escândalo na CBF. Eu não manjo nada de futebol, mas eu ouvi já coisas, então eu vou conseguir lidar com essa informação de uma maneira. Se você é fanática por futebol, você vai ter muita facilidade para lidar com isso. Mas eu sou especialista em crises políticas, há então eu vou ter repertório para

enfrentar inclusive esse tema futebol. (00:43:14) Se eu tenho familiaridade com o assunto de Genética, quando sair uma novidade da Genética, eu vou ter mais facilidade para entender, mas se eu só tenho facilidade para entender política ambiental, e consegui aprender bem, sei ler um texto, analisar dados, tenho essas habilidades desenvolvidas mesmo em um outro tema, eu vou ficar só chato falando: “O que é gene... o que é DNA... o que é isso...” Mas eu vou conseguir estruturar meu pensamento e avaliar. Posso demorar mais, posso demorar menos, mas eu não acredito que nada que um cidadão comum tenha que lidar possa ser feito tão rapidamente. Precisa pensar muito sobre isso. Vai precisar de tempo.

(00:43:54) E: É mais isso mesmo que eu precisava saber. Tem alguma informação?

(00:44:00) PB2: Eu acho que não, mas qualquer coisa você me manda um *e-mail*.

### **PB3**

Anotações da entrevista com a professora PB3

(Gravação do áudio não autorizada)

Conteúdos mencionados e justificativas:

grupos sanguíneos ((posteriormente falou que não seria prioritário))

gene e DNA – Importante para que o aluno entenda o que está vendo na mídia. Ex: teste de DNA.

Leis de Mendel: Exercícios, problemas. Importante para eles entenderem como as características são herdadas.

Transgênicos e clonagem. Disse que são importantes, que não dá para fugir deles, estão no dia-a-dia do aluno. Mencionou a soja e os demais alimentos transgênicos. Disse que aborda esses temas superficialmente sem entrar nos mecanismos envolvidos nas técnicas. Menciona que o tema clonagem pode ser abordado durante o ensino do tema núcleo celular.

**PB4**

(00:00:17) PB4: Eu acho que todo o conteúdo de Genética que tem na proposta ela é importante. Por quê? Porque a LDB ela está embasada no... tem uma parte da LDB que está embasada no conhecimento científico. Então, está na lei que o aluno tem que aprender o conteúdo todo. Claro que tem livros didáticos que são diferentes, mas no fim acabam se trabalhando a mesma coisa. Agora em quantidade de matéria. A quantidade de aula de Biologia é muito pouca. Este é um problema que a gente enfrenta, né... para você passar um conteúdo, deixar o cara mais crítico. Porque que na proposta, todo esse conteúdo é importante. É importante você conhecer isso aqui.

(00:00:18) E: Essa é a Proposta do Curricular do Estado?

(00:01:23) PB4: Essa é a Proposta do Estado. Entendeu? Isso é importante. A gente utiliza a proposta do estado e se embasa em alguns livros didáticos. Eu não uso uma linha de livro didático só. A gente vai usando diversos livros, né? Mas é importante sim para o aluno ficar crítico, ter conhecimento. É uma coisa que está na LDB também, o conhecimento científico.

(...)

(00:02:30) E: E quando o tempo é pequeno e o senhor fala: “Não vai dar tempo de eu abranger tudo isso. Eu acho tudo isso importante, mas eu vou ter que escolher aqui o que é essencial para aluno. Aí...”

(00:02:44) PB4: Aí sim: leis de Mendel, primeira e segunda lei de Mendel, isso aí é o principal. Quem foi Mendel. O conhecimento básico para o aluno entender o que é a Genética, o que é a hereditariedade.

(00:03:02) E: Para mim seria importante delinear este conteúdo básico que básico que o senhor falou. Seria leis de Mendel, quem foi Mendel...

(00:03:09) PB4: Isso, é... o que mais? É... os grupos sanguíneos que a gente passa, tem a parte que é a Genética mais molecular, são os DNAs, depois a gente vai entrando no DNA. As doenças. As síndromes.

(00:03:39) E: Quando o senhor está ensinando o básico do básico o senhor acha que é importante abranger transcrição, tradução...

(00:04:08) PB4: É. A parte de Biologia Molecular, né? ((pausa)) Essa parte é complexa para o aluno, entendeu? Porque muitas vezes eles não se lembram do núcleo da célula, né? Então, a gente tem que dar uma pincelada para lembrar e dizer onde ele está. Enfim... ((longa pausa))

(00:04:30) E: Nesse momento o senhor acaba abrangendo também a questão da divisão celular, da divisão meiótica?

(00:04:36) PB4: Sim.

(00:04:42) E: Ou ela vem antes em outro momento da escolaridade deles?

(00:04:44) PB4: Não... é... Conforme essa proposta... é mais na parte de célula. Esse ano ficou um pouco... a gente teve que utilizar é... porque o livro didático vinha numa organização diferente do que veio a proposta, né? Então, tem matéria que está na proposta que é do livro do primeiro ano, então a gente fez uma troca, né? Você vai rebuscar lá e passa para cá. Entendeu? Ficamos um pouco perdido neste sentido. Mas a proposta, ela já tem tudo o que já tinha antes. É que mudaram um pouco as séries. Não só em Biologia, em todas as matérias.

(00:05:21) E: Então, para o senhor o básico seria: Leis de Mendel, contar quem foi Mendel, grupos sanguíneos, Genética Molecular.

(00:05:30) PB4: A ordem é indiferente, né? Primeiro fala quem foi Mendel, e tal, né? No início a gente sempre fala quem foi Mendel, como é que foi a pesquisa e tal, porque isso é interessante o aluno conhecer por que que iniciou a História da Genética. ((interrupção para pedir para os alunos reduzirem o volume da conversa para não atrapalhar o áudio)). A ordem é falar quem foi Mendel. Né? Depois falar a primeira e a segunda lei de Mendel.

(00:06:10) E: (...) Então, deixe perguntar se não tem mais nenhum. Então, grupo sanguíneo, Genética Molecular, transcrição, tradução, doenças e síndromes... e aí lembra que o [DNA está no núcleo e falar sobre meiose.

(00:06:10) PB4: (É essa parte aí você tem que)] lembrar.

(00:06:30) E: E fora isso, tem mais algum conteúdo que o senhor acha que é essencial, que eles não poderiam sair sem, mesmo com pouco tempo?

(00:06:30) PB4: A parte que precisa aí... Alguns livros que eu andei consultando falam muito sobre as tecnologias recentes. Inclusive eu não li o livro ((menciona o nome do livro didático adotado pela escola)) ainda e eu não tenho ideia do que tem no livro. O livro chegou agora e eu não abri nenhum ainda para dar uma lida. Eu o havia escolhido antes do recesso. Mas tem muitas novidades, sobre Genética, o genoma ...

(00:07:04) E: E o senhor acha que é importante isso. É essencial, por exemplo[, o...

(00:07:05) PB4: (Ah, é importante, né? )] São informações para o aluno sair realmente crítico. Tecnologias, é:::....(( pausa longa))

(00:07:14) E: Tem alguns pontos importantes dessa Nova Genética que o senhor considera como básico ou ela no geral é importante.

(00:07:28) PB4: Ah só sendo mais no geral, né? Para a informação, né? Agora se fosse utilizar mesmo...Se fosse uma matéria, aí teria que ter mais aulas, por que são muito poucas aulas de Biologia.

(00:07:40) E: Agora o senhor acha que dentro desse básico dá para abranger os mecanismos das técnicas que são envolvidas nessas... por exemplo, você fala de transgênicos, de clonagem... dá para abranger as técnicas que estão envolvidas nisso, ou falar o superficial?

(00:07:59) PB4: Apenas o geral, mesmo. A informação, né? Por que eu creio que se for falar de técnicas vai ficar muito extenso o conteúdo, né?.

(00:08:10) E: Então, o senhor acha que não daria para falar, por exemplo, de enzimas de restrição, como é usada para fazer essas técnicas... não...

(00:08:20) PB4: Ah, eu creio que não.

(00:08:21) E: Como a clonagem é feita...

(00:08:22) PB4: A clonagem, a gente já fala quanto está falando de Biologia Molecular. Então, ele já tem uma noção de como funciona um clone. Mas informação que eu digo, é a mais recente de tecnologia mesmo, uma pincelada. Não dá para dar assim uma coisa muito científica, e envolve o interesse do aluno, também, nisto aqui. Muitos alunos não se interessam, né?

(00:08:56) E: Eles não se interessam por esses assuntos novos?

(00:08:58) PB4: É você comenta e o cara não retorna um interesse legal. São poucos alunos interessados. Eu não sei se é nessa região. Mas talvez seja pelo nível de informação.

(00:09:13) E: O senhor fala que então que eles não tem muito interesse por esses assuntos: células-tronco, transgênicos.

(00:09:21) PB4: Não.

(00:09:22) E: Isso não chama muito a atenção deles?

(00:09:23) PB4: Não. Não chama muito a atenção.

(00:09:24) E: Por que o senhor considera que esses conhecimentos são básicos para a formação dele enquanto cidadão? Qual a justificativa que o senhor daria para a escolha desses conteúdos.

(00:09:36) PB4: Para eles saberem a existência da Genética, que ele pode saber o tipo de sangue dele, as compatibilidades, ter uma noção sobre doenças que ocorrem. Então, por exemplo, saber o que é a doença saber o que é uma síndrome causada pela genética. Então, ele vai ter um conhecimento básico, né? Não vai ser científico igual a gente saiu da faculdade.

(00:10:02) E: Para ele ter um conhecimento básico na área sobre...

(00:10:06) PB4: Ah, sobre a saúde dele em si, né? As características de um filho. Entendeu? Isso aí realmente é um cidadão crítico. Ele sabe o que está acontecendo. Porque se você for pensar na realidade todo conteúdo é importante. É que não dá. Realmente não dá para você encher e sair daqui um... um cara fazer um heredograma, um genograma. Eles fazem aqui na lousa naquela... Entendeu? Porque você não...é... o Estado para mim perdeu o objetivo (...) porque você não sabe se vai colocar o cara no vestibular ou se ele vai ser só um cidadão. Entendeu? E aqui nessa região o cara não tem interesse no vestibular. Isso fica pesado para a gente. Você pode chegar na lousa e jogar uma carga de monoidrismo, começar explicar, fazer os cálculos, eles só vão interagir ali naquele dia, depois... Você entendeu? Então, a carga teórica para esse aluno é muito pesada. Agora eu já trabalhei em outros lugares onde os alunos tinham mais interesse. Mas, a quantidade de aula é muito pouca. Duas aulas por semana para dar Genética, entendeu? É muito pouco, você tem que pincelar.

(...)

(00:12:28) E: Então, era mais isso mesmo que eu precisava saber do senhor. Não sei se o senhor tem mais alguma coisa que gostaria de falar, ...

(00:12:33) PB4: Não, o maior problema do Estado mesmo é a quantidade de aulas. Eram 360 horas, agora acho que dá só 180 ou 200 e uns quebrados, então reduziu muito a carga horário de aula, mas também não é só em Biologia, em Física, em Química. Porque, você sabe o conteúdo que tem de Química e de Física. O aluno sai daqui com duas áreas desse conteúdo, não vai dar nada! Você sabe o vestibular que você enfrentou ((risos)). Porque à vezes os alunos comentam de cursinho e tal mas... no cursinho tem isso, no cursinho tem aquilo outro, mas lá no cursinho o cara só está relembrando o que ele já aprendeu no Ensino Médio. Então, eles não sabem o objetivo. Então, o Ensino Médio do Estado perdeu um pouco aquele objetivo de colocar o aluno no vestibular. Isso ficou meio duvidoso na proposta, por que como você vai garantir a alguém de prestar um vestibular sendo que a carga horária não cobre.

(00:13:37) PB4: Então, você acha que hoje em dia você a preocupação do Estado está mais em?

(00:13:40) formar um cidadão crítico. A gente fala que tem os objetivos, garantir calculo, leitura e escrita, não importa o conteúdo.

(00:13:52) E: Ok.

(00:13:52) PB4: Esta ok?

(00:13:33) E: Muito obrigada professor era isso mesmo que eu precisava.

## **PB5**

(00:02:14) PB5: Entendi. É... Essa é uma pergunta é uma pergunta complicada, por que? Porque na verdade existem duas questões. Talvez a minha entrevista fique um ponto fora curva, da sua curva de Ensino Médio, porque na verdade eu fiz mestrado e doutorado em Biologia Molecular. Então, para mim sempre foi muito claro o que os alunos tinham que ter minimamente de Genética. Então, lá no Rio, eu sempre trabalhei com Ensino Médio, mas um Ensino Médio, mas um Ensino Médio com um pessoal que também tinha uma titulação alta. Então, a gente conseguia pegar, o que teoricamente estava no livro didático e trabalhar em cima de pontos mais atuais, eu diria, da Genética. Então, aqui, quando eu cheguei, aqui na verdade preponderava com relação ao ensino de Genética era mais ou menos o que estava no livro didático. Então, o que está no livro didático é ainda uma Genética Clássica. Num formato muito convencional. (00:03:06) Eu adoro Genética Clássica, acho que é fundamental para os alunos saberem. Então, os conceitos de Genética Clássica, por exemplo, que eu sempre briguei muito, porque sempre foram me apresentados de uma forma muito dura e estanque..., por exemplo, o trabalho de Mendel, para mim, na época que eu aprendi eu achava tudo aquilo muito chato, mas na hora de eu apresentar o tema eu tento apresentar de uma forma diferente. Então, mais do que exatamente a decoreba da Genética, porque a Genética sempre foi uma decoreba associada muito à questão da Matemática, trabalhar a Genética Clássica em cima da questão histórica. Então, os conceitos clássicos para mim são fundamentais, mas num contexto histórico, não como a Genética é isso. A Genética vem sendo feita numa progressão de abordagem. Então, nesse lado, por exemplo, eu gosto de falar dos conceitos de Genética Clássica. Então, por exemplo, trabalhar com o conceito da questão

da herança particulada, da Citologia com a Genética, do isolamento de molécula relacionada a Friedrich Miescher, a molécula como... quer dizer você trabalha em cima da constituição do material genético, como se fez a associação entre núcleo/herança, herança/ material genético, material genético/DNA, essa trança, né... aí pegando pela questão histórica. (00:04:48) Então, eu trabalho assim. Aqui quando eu cheguei não era uma abordagem muito forte, mas que agora a gente está reestruturando tudo, todo o currículo para trabalhar com a questão clássica dessa forma. Conceito de natureza e constituição do material genético eu acho fundamental. Então, eles já reconhecem o DNA, mas ainda é difícil para eles realmente entenderem o que vem a ser a molécula. Sinto uma dificuldade muito grande na questão de transposição de letras para moléculas tridimensional. Então, a gente tenta trabalhar um pouco com eles esse aspecto. A gente não tem assim, muita estrutura, a gente tem microscopia para trabalhar, temos alguns modelinhos, que a gente tenta fazer, né, manuais e tudo, mas eu estou usando praticamente a informática para essa questão tridimensional. Tem um site que a gente está começando a usar de forma mais intensa que é o “DNA desde o começo”, que na verdade foi traduzido pelo “DNA vai a escola” de uma área do portal do *Gene Almanac* do *Dolan DNA Learning Center* que é *DNA from the Beginning*. Então, aí ele tem muito dessa parte histórica, e agora está tudo em português, a gente está se apropriando. (00:06:11) Mas, o que, eu acho fundamental associar a questão da herança propriamente. A ideia é trabalhar em três níveis: como é que o DNA funciona na célula, como o DNA funciona de célula para célula, quer dizer: o DNA, sendo um material genético, mas como ele coordena minimamente, ele trabalha, funciona dentro da célula. O segundo nível seria célula a célula. Então, entra divisão celular, entra um pouco de diferenciação celular. Então, a gente chega a discutir um pouquinho sobre esse papel. E um terceiro nível que seria um nível mais amplo, que aí vai de célula a célula, de indivíduo, para indivíduo, dependendo do indivíduo se é uni ou pluricelular, e aí a gente começa a fazer um pouco de Genética de Populações já trabalhando um pouquinho com a questão, mesmo, de Evolução. (00:07:14) Começa a trançar, né?, o que seria Genética digamos celular, de indivíduo e de família para uma Genética aqui, um pouco mais ampla. Hoje não tem jeito. Eu não consigo não falar do funcionamento do DNA como ele tem que ser falado. Então, entra tudo, aqui está entrando tudo, está entrando introns, éxons, *splicings*, está entrando RNA de interferência. Está entrando epigenética já, que é um ponto que sempre foi muito difícil. Agora eu não vou dizer que é uma coisa fácil. É difícil, mas fica, por exemplo, mais fácil quando você pega Genética Clássica, né, e você, por

exemplo, vai discutir algumas coisas, talvez, sei lá, normas de reação, ou porque gêmeos são idênticos, mas não são exatamente idênticos. Então, eu tento trabalhar com esses temas assim mais novos um viés: “por que gêmeos idênticos, são idênticos, mas não ficam idênticos eternamente? Aí pegando o que a gente sabe e mostrando para eles que na verdade a Genética que a gente conhece é uma Genética que está em transformação. Então, isso para mim é o mais importante que eles aqui saiam sabendo. Existe uma Genética já muito bem conhecida, existem muitas características e muitas situações em que ela pode ser aplicada, mas que a Genética está em transformação. (00:08:48) Então, o conceito de gene, por exemplo, eu tenho dois momentos. Eu gasto muito pouco tempo para construir um conceito de gene tradicional na cabeça deles e depois desconstruo tudo. Entendeu? Então, quando eu apresento para eles, porção do genoma que não é codificante e aí eles: “Ãh?! Mas como assim professor?”. Eu falo: “Pois, é”. Então, a ideia é trabalhar isso, trabalhar um pouco esse momento de mudança. E tem uma parte que não tem escapatória que é a parte das aplicações da Genética. Agora é que a gente está, por exemplo, trabalhando um pouco mais sobre essa questão de genoma individual, né? Entendeu? Até que ponto vale, até que ponto não vale, e aí é o tal negócio. Para determinadas situações vale muito porque existem relações completamente diretas, né?, entre você ter uma determinada versão de gene e você ter determinada predisposição, ou ter determinado problema. Você tem o gene mudado para fibrose cística... (00:09:46) Aí eu resgato as questões conceituais clássicas tipo: haploidia, diploidia, eles fazem uma confusão danada, para falar “Ah os seres humanos tem 23 cromossomos”. Eles falam, “mas não são 46?” Eles ficam tão... “Então, não são três bilhões são seis bilhões” cada pessoa em cada célula três bilhões. Eu falei “Sim, mas são duas versões da mesma informação”. “Ah, mas eles são idênticos professora”. “Não não, são idênticos”. Isso eles estão começando a entrar, aqui a gente está fazendo assim. Tentando fazer assim, mas não está fácil, não. E isso requer um conhecimento mais, digamos, uma abstração maior, né? (00:10:24) Então, por exemplo, o transposon eles não sabem que existe. Então, assim eu diria que hoje está um momento meio de mudança. A gente está ainda tateando, ainda está vendo até que ponto a gente consegue abandonar aquela Genética muito... sabe... quadrado de Punnet, proporção 1 para 2 para 1, 1 para 3, aquela coisa bem amarrada que está nos livros didáticos, e muito determinística, que é pá pá pá pá pum, para uma abordagem um pouco mais assim crítica em relação à Genética, entendeu? “Ah professora, então eu tenho gene e eu vou ser assim”. Eu falo: “Olha gente, como assim, eu tenho um gene e vou ser assim?” Então, por exemplo, essa questão toda do

23andme, da venda de genomas parciais, agora U\$399,00, aí existe uma discussão... até que ponto vale, até que ponto não vale, até que ponto é importante, até que ponto não é importante. Então, assim, a gente está no momento de reestruturar, eu acho. Não tá fácil não, mas é como eu te falei, talvez a gente aqui fique um ponto fora da curva, entendeu o que eu estou querendo dizer? Pela formação dos professores, que aí consegue ter uma noção maior. (00:11:49) Eu não sei, assim, os professores que não tem a formação na área mais de Genética, mais digamos... molecular e tal, se conseguem alcançar as dúvidas até. Agora uma coisa que você não sabe é que a gente tem um curso de licenciatura, e a licenciatura na verdade começou como Ciências Naturais, mas agora já mudou, vai ter para Química e para Biologia. E na verdade, tudo o que eu estou falando aqui, a gente reproduz em outro nível para esses professores, entendeu? Então, a gente vai estar preocupado como é que vai sair depois né?, como é que eles vão levar depois para sala. Então, por exemplo, para Mendel, eu estou reproduzindo o trabalho de Mendel na instituição, e aí eu estou tentando fazer algumas coisas do tipo juntar a clássica com a molecular, por que isso é um projeto mais a longo prazo, mas já para tentar vislumbrar um caminho que consiga unificar as duas linhas, que normalmente nos livros, assim, são duas coisas muito segmentadas. É clássica, clássica, clássica, aplicações da Genética. Aí vem lá clonagem molecular, não sei o que... E o cara fica: “Putz! Mas qual é a relação de um com o outro?”

(00:13:00) E: Essas novas aplicações da Genética, o que você acha, é importante que ele conheça?

(00:13:13) PB5: É fundamental. Para mim é fundamental, para mim não existe hoje uma pessoa que... é... foi como eu te falei, no fundo, no fundo, eu acho que assim, a questão da Genética, da hereditariedade, do funcionamento celular, da importância, né?, do controle, digamos, não no sentido de tomar conta, mas no sentido de participar de uma forma importante da atividade fisiológica. Então, até que ponto, né o DNA participa disso, como ele... como isso para mim é importante, a questão mesmo de entender a forma de você transmitir essa questão Genética. Então, isso para mim é importante que eles saibam. Então, por exemplo, eu quebro muito a cabeça para desassociar meiose de gameta, por que todo mundo tem uma concepção, uma coisa preconcebida que meiose é gameta, meiose é gameta, meiose é gameta ((bata a lateral externa da mão espalmada em dois pontos da mesa, repetidamente, durante 3 vezes)). Eu falo: “Gente, não é bem isso”. Então, eu bato um pouco nesses ciclos de vida com ele, para mostrar que não é. Essa coisa do macroscópico em relação

ao microscópico, então a gente está fazendo algumas considerações já, assim, tipo sei lá, você tem 10 trilhões de células, mas 100 trilhões de bactérias que coexistem com você, você é mais você ou é mais bactéria? ((risos)). Eles ficam meio... “Como assim professora?” (00:14.32) Eu falo, então, a fisio/... não é só desmistificar um pouco, ah eu tenho DNA, então por ter o DNA desse jeito eu vou ser... já estou determinado a ser. Mas ao mesmo tempo não é simples, por que existem as características específicas de fisiologia básica. E que estão dependentes dessa informação e dessa interação, né? Então, não é um trabalho fácil não. Agora aplicações não têm escapatória.

(00:15:02) E: As aplicações que você diz seria, por exemplo, explicar o que seria transgênicos, o que seria...ou não?

(00:15:09) PB5: Sim

(00:15:10) E: O que seria essas aplicações?

(00:15:11) PB5: Eu acho aí são as duas coisas assim, que eu acho que tem que ocorrer em paralelo, porque normalmente a gente trabalha com... quando a gente fala das aplicações, tem o como eu faço, como é feito, né?, como eu faço, o que é um transgênico. Então, isso para mim é fundamental. E existe a discussão que vem daí, quer dizer, quais são as aplicações, quais são as limitações, então existe uma discussão que não é bem uma discussão da Genética, mas é uma discussão da ética, do uso do processo em si, sem atribuir valor na verdade, a gente fazia coisa sem atribuir valor, a gente tenda fazer só um levantamento do questionamento. Então, existem, por exemplo, alguns alunos que já vêm com uma ideia pré-concebida do que é bom, o que é ruim. E a gente, na verdade, tenta mostrar que a coisa não é bem assim. O que é bom e o que é ruim. Não é tão maniqueísta quanto se pretende. Na verdade você tem que pensar nas possibilidades de uso e aplicação, manuseio, mas aí ele segue o padrão convencional, né? (00:16:14) Então, por exemplo, para a saúde quase que é unânime que claro! tem que tentar tudo, fazer tudo. Mas para, por exemplo, transgênicos para a agricultura, ai não, mas pode ser tóxico, eles têm uma divisão bastante clara, assim, eles sempre tendem para tudo que está relacionado à saúde humana vale a pena, entendeu?, mesmo com todos os riscos, com ãhnnn, vale a pena. As outras coisas que já envolve produção... eles não conseguem ver que a saúde também é um mercado, né, quer dizer, é uma indústria, mas a gente tenta na verdade discutir um pouco mais pelo lado da Genética em si né? Então, mesmo essa questão do genoma individual, a gente tenta discutir qual seria a aplicação disso, quer dizer, como é o teste, como é feito o teste. Então, eu explico como é feito, mas eu simplifico

na medida do possível, eu não chego a... Mas eles ... eu acho que na verdade é mais do que saber, é conseguir questionar, né?

(00:17:25) E: Então, pelo que eu vi, você falaria, então como que funciona essas técnicas atuais. Porque, na verdade, o que aconteceu: têm alguns professores que eu entrevistei que falaram assim: “Olha, a gente até falaria de transgênicos, clonagem, etc e tal, mas não entraria muito profundamente na técnica. Explicaria superficialmente”. Como seria isso para você? Para você daria para aprofundar mais?

(00:17:58) PB5: Eu acho que dá. Eu acho que dá porque hoje você tem muita coisa na Internet. Então, você tem muita animação, você tem muito *You Tube*, você tem muita ferramenta para que o aluno na verdade trabalhe aquilo sem ser uma coisa assim teórica. Mesmo os livros didáticos oferecem isso já. Você pega Amabis e Martho, livros tradicionais de Biologia, tem algumas atividades que os alunos realizam, que eles fazem, mas eu acho que para poder ficar realmente isso de uma forma, um pouco menos teoria, por que é muito detalhe... essa parte entra... Por exemplo, quando eu falo de enzimas de restrição, como é que eu vou explicar isso? Putz, tal! Vou entrar em tudo? Ah a sequência palindrômica que reconhece tlict plict... não precisa. Basta você falar: “Olha...”. Porque quando eu falo de origem de replicação, de transcrição, eu já reforço para eles que na verdade existe uma sequência reconhecida, que existe aí uma espécie de um código, que na verdade precisa ser reconhecido e que vai ser usado para se fixar uma proteína, ou um grupo de proteínas, que vai disparar o processo a partir daquele... Então, eu vou seguir o mesmo raciocínio. (00:19:11) Então, para eles não importa se é palindrômico, se não é palindrômico onde a enzima vai cortar. Importa é que ela vai reconhecer, que ela vai clivar e que ela vai conseguir na verdade... Entendeu? Então, na verdade esse tipo de informação que eu acho que é fundamental, porque isso para mim, na verdade, mais do que a informação em si de eles saberem como faz, eles entendem como que a coisa... Então, por exemplo, eu faço um... “Ah, mas se eu tiver uma outra região igual a essa em algum outro lugar dessa molécula?”, “Ah professora, vai quebrar em um outro ponto”. E aí eu começo a fazer uns problemas para eles: “E aí, o que é mais fácil juntar, três pedaços, dois pedaços ou quatro?” Então, eu vou falando um pouco da técnica, mas sem na verdade entrar, mas pegando pelo lado da coisa meio do raciocínio. Então, por exemplo, eu sei que eles saem da aula com essa noção de que não adianta pegar qualquer DNA com qualquer DNA, quebrar de qualquer maneira e juntar de qualquer maneira. Não é bem assim que a coisa funciona. A coisa tem que ter um

planejamento, então não adianta você pegar, ah, um transgênico, não sei, pode ser perigoso, como assim ser perigoso? Isso não foi feito, assim, sem um planejamento. Então, qual é o planejamento? Você tem que ter? É onde vai quebrar? Como você vai juntar? Agora, preciso falar todos os detalhes? Não. (00:20:23) Aí eu falo: “Tudo bem, criei um DNA recombinante, está aqui, eu emendei um pedaço com outro pedaço que não é original. E daí? Para que me serve isso dentro do tubo de ensaio? Vou ter que colocar isso de novo dentro de uma célula? Como é que eu vou enfiar um negócio dentro da célula. É fácil enfiar um DNA dent/((risos)). Então, mais do que eles saberem o detalhe, eles conseguirem na verdade construir com a técnica, com o entendimento, uma linha de raciocínio. Primeiro eu construo, depois eu ponho no... Quer dizer, para que eu quero fazer isso? Pra fazer isso, como é que eu vou fazer isso?

(00:20:54) E: Então, para você a compreensão da técnica ajudaria eles...

(00:20:59) PB5: O desenvolvimento mental deles...

(00:21:00) E: O raciocínio...

(00:21:02) PB5: É porque só assim ele vai pegar, eu acho, uma reportagem de jornal e falar: “Fulaninho sequencia, agora vamos nanana...”, “Calma, mas espera aí! Como é isso? Eu sequencio, mas e depois? Vai ser assim? Vai pegar esse DNA e enfiar lá. Não é assim. Ele na verdade não vai saber do detalhe, não vai saber o nome da enzima, não vai saber qual é a temperatura nem a quantidade de cloreto de magnésio que vai ter que colocar na solução, mas ele vai olhar e falar: “Espera aí! Não é tão simples assim que nem essa reportagem...”. Porque às vezes você pega umas reportagens que dão até calafrio na espinha, mas o cara vai perder o fio da meada e falar: “Meu Deus! O que essa reportagem está dizendo? Como é que eles vão fazer isso? Eles vão pegar? Eles vão usar, o que? Eles vão juntar isso em alguma outra coisa, eles vão...” Então, é isso que eu acho que é o desafio, porque a Genética hoje é isso, né? Do mesmo jeito que vão ler lá: “Sequenciaram...”, sei lá, “Identificaram...” sei lá, aquelas coisas absurdas que vem sempre a tona, né? O gene do homossexualismo... Professora: “Isso existe?” “Gente a coisa não é tão simples assim. (00:22:05 ) Não é um negócio... Vamos parar e vamos raciocinar”. Mas às vezes sai, né? Uma reportagem, sai... E eu acho que, que na verdade o nosso trabalho em Genética é um pouco esse, né? Preparar a pessoa. No fundo, no fundo para poder ler ou para poder escutar, para poder ter uma opinião ponderada, e não uma opinião... um sentimento. Por ignorância o cara fala: “Aaaah!” vai falar “Ah! Isso aqui não faz sentido”. Pelo menos tem um pouco mais de senso crítico. Nesse aspecto eu acho que saber como a técnica é fundamental do mesmo jeito que eu acho que a discussão histórica dos

experimentos é fundamental para ele entender também que as coisas não são estanques, que as coisas progridem o que um fala, na verdade junta com o que o outro fala, e que a coisa vai caminhando, né, digamos assim, meio tateando, né? Vai tateando, tateando, tateando até que a coisa vai para frente, mas que não é um caminho certo. Entendeu o que eu estou querendo dizer? Então, eu acho que a técnica para isso é fundamental e a discussão dos experimentos históricos. (00:23:14) Então, eu falo, por exemplo de fração de raio-X com ele. Preciso explicar tudo no detalhe? Não. Eu simplifico. Mas eu coloco a imagem. Entendeu? Eu coloco a imagem, eu faço questão de reproduzir aquela história das ligações de hidrogênio. Ah, eu preciso falar toda a Química? Não. Mas é um trabalho mental de você na verdade procurar assim, vamos dizer, pistas. Eu acho que esse é o trabalho do professor. Ele fazer o cara seguir pista. Mesmo que ele não saiba direito que ele está seguindo ele minimamente sabe para onde ir ((risos)).

(00:23:56) E: Então, acho que você acabou de falar um pouco, mas eu gostaria só de confirmar, se você puder até, só para fechar. Esses conteúdos, você os considera importante para a formação do cidadão crítico. E por que estes conteúdos? Por que eles e não outros?

(00:24:31) PB5: Em relação à Genética?

(00:24:32) E: Isso.

(00:24:33) PB5: Na verdade, a gente não abdica de um conteúdo em detrimento do outro.

(00:24:38) E: Sim, mas porque eles seriam os básicos? Entendeu? Não que você estaria excluindo. Por que você considera todos esses conteúdos que você colocou como básicos? Por que você escolheu falando assim: Meu aluno não pode sair daqui sem saber ele? Por quê?

(00:24:55) PB5: Porque eu acho que esses conteúdos me ajudam a desenvolver um raciocínio, uma sequência de raciocínio. Na verdade, foi o que eu falei. Conteúdo hoje, é algo que você não tem mais dificuldade em obter, você quer saber? Você quer conseguir um conteúdo, uma informação, você na verdade não precisa estar na escola para conseguir. Você consegue em qualquer lugar. Então, na verdade para mim o papel da escola desde o início sempre foi desenvolver a habilidade em raciocinar. Só que isso sempre foi pautado em cima de conteúdo. Pelo menos, assim, minha experiência pessoal, e o que eu sei da educação como um todo, né? Então, tem as linhas de construtivismo, e tal, para tentar quebrar um pouco com esse caminho, mas como você fazer o aluno construir o próprio raciocínio é uma coisa que realmente a gente ainda não... não é fácil, porque isso gasta tempo. Foi como eu falei, às vezes eu gasto muito tempo para construir na cabeça deles uma história. Então, eu vou falar sobre DNA, eu não

chego e falo: “DNA é uma molécula bláblábláblá”. Eu não faço isso, eu falo, o que é o DNA, vocês já sabem, mas e daí? Então, eu começo a construir com eles e isso demora. Mas eu acho que o conteúdo na verdade tem que favorecer essa construção de sequência mesmo lógica de raciocínio. Ou seja, de ele acompanhar uma linha de pensamento. E aí para qualquer conteúdo, se ele tiver uma linha de pensamento já treinada na cabeça, ele vai. (00:26:36) Então, eu posso dar um tema qualquer e falar: “Se virá!” O cara fala: “Espera aí! Eu vou começar de onde? De onde isso veio? Como é que isso surgiu? O conteúdo que eu disse para você, ajuda a desenvolver esse raciocínio, e para o lado da Genética, eu tenho que focar, né? Não sei se para todas as áreas de conhecimento, o mesmo estilo de raciocínio de sequência lógica vai servir, mas de certa forma, para a Genética sim e para Ciências, eu acho. De uma forma geral, eu acho que ajuda, né?

(00:27:14) E: Certo. Eu entrevistei algumas pessoas que falaram que, por exemplo, o que eu acho que diverge um pouco da sua opinião, que seria importante o aluno ter bem sedimentada a Genética Clássica, mesmo que ele não chegue a ver a parte molecular ou então as novas aplicações. A pessoa falava assim, que o receio dela é que, por exemplo, você dando a parte molecular, ou então as novas aplicações, você estaria dando muito conteúdo e o aluno às vezes não sedimenta bem a Genética Clássica. Então, falou-se assim: “Claro se der você pode até chegar a expandir, mas o importante, o básico, seria ele ter bem sedimentada a Genética Clássica, o que você acha dessa opinião?

(00:28:18) PB5: Eu não concordo, na verdade foi o que eu te falei, eu vou ser um ponto fora da curva sempre. Porque é o seguinte, quanto mesmo do genoma funciona segundo o padrão da Genética Clássica? Então, é fato isso. O problema é que a maior parte dos professores não tem essa... A gente tende a reproduzir o que a gente aprende. Então, se você aprendeu a sua vida inteira e sedimentou todos os fundamentos de Genética Clássica, embarcar, por exemplo numa área nova, que você não teve chance de se aprofundar, isso eu acho que causa um certo receio. Então, por exemplo, como é que uma pessoa que não teve a oportunidade de entender qual é o papel da epigenética no funcionamento do DNA, vai ter tranquilidade para ensinar isso? É difícil. Eu acho difícil. Então, por exemplo, em nenhum momento eu abro mão da Genética Clássica. Aliás, eu coloco a Genética Clássica no topo da minha... como dizer... jogo a bola lá para cima. Por que? Porque no fundo eu pego pelo aspecto histórico. Para mim a gente só está na Genética, onde a gente está caminhando para um entendimento muito maior de funcionamento e da própria questão de padrão de herança propriamente, porque realmente

a Genética vem se evoluindo, veio sendo trabalhada em cima de parâmetros que eram mais fáceis de serem analisados, mais simples de serem ponderados. (00:29:41) Ah, Mendel não considerou características que ele não sabia matematicamente lidar com isso. Tudo bem! Mérito dele! O cara teve um sacação de falar: “Olha o que eu não sei responder eu vou deixar quieto. Agora, isso aqui que eu estou conseguindo acompanhar, eu estou conseguindo ver um padrão, como é que eu avalio esse padrão?” Qual é o desmérito que tem isso? Nenhum! Muito pelo contrário, então eu abordo Genética Clássica, tento abordar, muito por esse lado. Agora, do mesmo jeito que é assim, ela não consegue responder tudo. (00:30:12) Então, assim: os professores que se fixam na Genética Clássica, acabam, eu acho que se agarrando naquelas certezas, que hoje em dia ((risos)) já não estão tão mais... Entendeu? Não dá. Eu acho difícil, então, por exemplo, eu não abordo, não desconsidero, falo da Genética Clássica, falo de padrão de herança, falo de dominância, dominância completa. Aí eu falo: “Viram isso tudo? Lindo, né?” Por que a gente sempre pega os mesmos exemplos? Para falar de codominância sempre o mesmo exemplo. Por que que é sempre o mesmo exemplo? A gente está incorrendo então no mesmo problema de Mendel, né? De sempre pegar o que se encaixa para aquela regra. Agora isso desmerece a regra? Claro que não. Agora, como é que a gente entende essa regra? Tem uma explicação para isso? Tem uma explicação para isso! Então, por exemplo, codominância eu já explico para eles no nível molecular. Dominância completa, idem. Então, eles já falam: “Ah! Então, o cara herdou duas versões de genes que provocam proteínas que não transporta sei lá o que pela membrana professora?”. “Para esse exemplo, sim”. “Ah! Então, é por isso! Porque se ele tiver metade das proteínas funciona?” Eu falei: “Para esse exemplo sim”. “Ah! É para todo? Tudo funciona então: O que é dominante, recessivo, vai funcionar assim?” Eu falei, não sei: pode ser que sim, pode ser que não”. (00:31:31) Olha, a gente vai ter que entender, porque muitas das coisas que a gente na verdade fala que é dominante e recessivo, pode na verdade não ser dominante e recessivo. A gente está vendo a expressão daquilo como dominante e recessivo, mas molecularmente será que não tem as duas coisas ali de alguma forma? E você só está vendo a expressão que está predominando em relação a outra? Eu não sei. A gente na verdade então... é isso que eu estou te falando. (00:31:56) Eu não concordo. Acho que os conceitos clássicos de Genética Clássica são mínimos que o aluno tem que entender, por exemplo, padrão de herança monogênica, digênica, e você daí puxar o molecular e mostrar por exemplo, as interações. Então, mostrar por exemplo aqueles conceitos de epistasia, não sei o que, aquela decore/ porque aquilo é uma

decoreba! Para mim sempre foi. Isso para mim não é fixação de conceito de Genética nenhuma. Assim como não é ficar fazendo o cara preparar quinhentos mil exercícios de Matemática para dizer se... entendeu? Para mim isso não é fixar o conceito clássico de Genética, não é! Agora, tem que ter? Tem. Eu dou, dou. Eu cobro? Eu cobro. Mas eu não coloco a Genética Clássica como sendo assim: Ah, ele sabendo isso, então ele vai sozinho depois. Não vai. Eu acho que hoje em dia não responde mais.

(00:32:59) E: (...) Seria importante eu entender também mais uma coisa: Na sua opinião, por exemplo, uma pessoa falou assim: “É complicado você querer explicar tudo, querer que o aluno saia compreendendo todas as novas tecnologias, porque essas novas tecnologias são aquelas que estão presentes hoje. Amanhã ele vai se deparar com outras então você nunca vai dar conta de tudo, né?” E aí o que você acha?

(00:33:49) PB5: ((risos)). Eu acho que existem tecnologias básicas para o aluno mais do que entender o detalhe da tecnologia. Então, por exemplo, você não falar de PCR para um aluno, é você está impedindo o aluno no meu ponto de vista de entender até o exame de sangue que o médico pode pedir para ele e que lá no Fleury vai ser por PCR. Aí você vai falar: “Eu preciso falar de tudo?” Não! Mas ele tem que entender o que? Que é uma técnica que amplifica. Então, que na verdade eu não preciso ter um montão de molécula de DNA no início, que basta um pouquinho que eu já consigo chegar no resultado, por que a técnica é capaz de fazer o que? Amplificar um pedacinho lá de interesse do DNA. Gente! Isso é básico! (00:34:27) Sequenciar DNA: têm 500 mil versões atuais de sequenciamento. Mas entender que existem técnicas que são capazes de utilizar a sequência do DNA direitinho... Você pode dizer: A própria clonagem, que é a coisa da manipulação, de você isolar, crivar... Claro que a tecnologia vai avançar e claro que a coisa vai progredir para um caminho que você não sabe qual é. Agora, existem, eu acho, aquelas técnicas básicas, que eu descordo, eu acho que tem que ter. Agora, eu preciso, por exemplo, explicar para o meu aluno, a técnica de Illumina que é ultra aaaaaah? “Gente óh! Tem uma técnica espetacular, o negócio é... junta uma série de questões porque além de sequenciar, amplifica. Então, você consegue ali um negócio. Beleza? Você quer saber o site? [www.illumina...](http://www.illumina...) Vai lá, lê, está em Inglês”. (00:35:20) Então, o aluno que quiser ele vai cavocar. Agora, eu tenho que mostra para ele que existe uma técnica, que... “...Ah professora, mas como é que termina?” “Aí você tem que explicar a natureza da molécula, que não tem OH, que lembra aquele 3’ OH blablablablã... ((risos)). Pois é, não tem nessa posição, então aí não consegue progredir a reação e aí pára. Então, a reação é

planejada para que você tenha sempre uma mistura. Eles acham um barato. “Mas o laser passa?” “É, a técnica mais simples é assim, digamos, hoje né?” Porque eu fiz no manual no material radioativo, mas deixa para lá, né? Então, eu acho que é importante, sim, porque isso é uma coisa que aproxima o aluno.

(35:58:00) E: E o que você chamaria de técnicas básicas? Seria o que?

(00:36:02) PB5: Sequenciamento de DNA, PCR e Clonagem ((a professora respondeu prontamente)). Então, quando eu falo, por exemplo, de cariótipo, cariotipagem, quando eu falo do exemplo de amniocentese para detecção da trissomia do 21. Eu falo: “Gente! Trissomia do 21 é uma das possibilidades de você detectar pessoas com Síndrome de Down, existem trocentas outras possibilidades, que às vezes na verdade, às vezes tudo bem a trissomia está clara ali. Às vezes você olha o cariótipo e o negócio não está claro, É tanta...”. Aí eles ficam me olhando e eu falo: é, pois é, aí eu falo sobre a clássica, pega as células e tralatalã... e falo: “Pois é, mas você tem uma versão de PCR que na verdade é quantitativa que ele vai medir, ele compara...” e eu não explico tudo. Eu falo: A quantidade relativa de uma pessoa que só tem duas versões, digamos, do pedaço do 21 e ele compara com uma outra. Se a outra tem mais significa que aquilo está duplicado, que está no cariótipo tão claro assim. Então, você consegue ter... “A professora e qual é a vantagem?” “Ah qual é a vantagem é que agora você já tem umas técnicas que trabalha com DNA do feto na corrente sanguínea mãe”. “Ãh! É professora?!” (00:37:11) E falo assim: “É”. Isso eu acho que..., claro, eu chego na hora da prova e cobro como isso? Como que eu cobro conhecimento disso? Vou pedir para que ele me descreva exatamente qual é técnica? Não. Mas eu posso pedir: “técnica clássica faz assim, explique ou sugira como você pode... essa é a única?”, ou põe um texto e pede para ele no texto reconhecer o que é novo e o que não é novo, dar uma opinião dele então não precisa ser em cima do detalhe da técnica, que eu vou exigir depois o conhecimento dele, entendeu? Mas eu acho fundamental. (00:37:46) E eu vou te ser muito sincera, quem..., sei lá, é a minha opinião, tá, quem não consegue trabalhar com isso, é por que realmente... eu concordo, a formação faz diferença nessa hora. Entendeu o que eu estou querendo dizer? Então, se o cara na graduação não teve chance de trabalhar desse jeito, não foi exigido dele isso, e depois ele não fez nada de mestrado ou doutorado que levasse isso em consideração de alguma forma, pode ser na área técnica, mesmo, de bancada, ou mesmo na área de educação, de levantar esse tipo de ... é muito difícil. Porque não é fácil para uma pessoa que não trabalhou na bancada, por exemplo, entender uma mudança de sequenciamento com material

radioativo para um com sequenciador automático, para um Ilumina. Não é fácil. (00:38:37) Aí os professores eu acho que tendem a se agarrar ao que eles... Entendeu? Eu acho que particularmente, eu acho assim que... espero né que as próximas gerações de professores consigam já na graduação serem colocados diante de umas situações mais desafiadoras em relação às coisas que mudam. O problema é que não é fácil.

((...Conversas fora do tema da entrevista...))

(00:42:15) PB5: Mas eu não sei..., eu acho que a Genética é muito... Eu falo para os meus alunos: “Você está vendo isso aqui que eu estou ensinando para vocês? Vou contar um segredo. Logo, logo isso aqui vai dar uma mudada. ((risos)) Isso aqui não vai ficar muito tempo desse jeito por que está avançando muito a pesquisa nessa área. Então, isso que vocês estão vendo aqui...” Então, um aluno já falou assim: “Ah professora, então por que a gente aprende isso?” Eu falei assim: “Porque nós humanos somos assim. A gente tem que ir aprendendo e as coisas vão mudando, vão mudando e você vai acompanhando, vai acompanhando, vai mudando”. Ainda brinco com eles, falo: “Está vendo o PCR? Eu vi nascer. ((risos)) Quando ele foi proposto eu estava na faculdade. Quando apresentaram a técnica, um olhou para a cara do outro e falou: ‘Caraça! Como ninguém pensou nisso antes?’”. O fato é: Por que ninguém pensou nisso antes se tanta cabeça importante já estava trabalhando com DNA a tanto tempo? É por que é assim. As coisas vão caminhando e a coisa vai evoluindo e... Foi até o que eu brinquei com eles, eu falei assim: “Então, tá! Então, a gente não vai aprender mais nada por que tudo muda, né? Ainda mais assim, os assuntos de fronteira, de vanguarda. Então, vamos combinar aqui que ninguém vai ver mais nada de computador, tá? Ninguém vai saber mais qual é o último MP3, qual é o último telefone. Por que muda toda hora. Você compra hoje, amanhã já ta...Putz! Já saiu um melhor! (00:43:40) A não professora, mas assim a gente... Então, é a mesma coisa, a natureza humana é essa. Você está sempre correndo atrás de alguma coisa, você nunca consegue chegar num absoluto. Isso em todas as áreas, agora eu acho também que é como eu falei né? Sem sombra de dúvida, não é fácil. Eu, por exemplo, lá no Rio, tinha um público apaixonado por Biologia, então era fácil. Qualquer coisa que eu falasse sobre a novidade mais escabrosa: “Ãhhhhh!” ((interjeição de admiração)), porque lá os cursos são voltados para Biotecnologia, para a Química, a Farmácia, o Meio Ambiente. Então, o pessoal que entra, já tem assim uma certa afinidade pelos temas. Aqui o pessoal faz eletrônica, mecânica. Então, foi como eu estava te falando, não é... (00:44:28) Mas aí quando você começa a, por exemplo, misturar tecnologia, por isso

que eu te falei, que eu acho que as técnicas são legais. Eles começam de alguma forma a juntar tipo, por exemplo, um sequenciador automático é um aparelho, um aparelho! Que trabalha para mim na Genética, me dá uma sequência de nucleotídeos, mas então eles... Eu acho que isso aproxima. Entendeu? Então, por exemplo, falar de uma eletroforese, falar de campo elétrico, e não sei que, e aí tem a fonte e a voltagem, isso de certa forma pode parecer a coisa mais estranha do mundo falar isso, mas quando a gente começa a falar de assuntos de que de alguma forma aproximam aquele tema que é Genética com mais ou menos as áreas de interesse, você percebe que eles dão uma: Putz! Mas então... (00:45:15). Você junta por exemplo, uma turma de informática, você junta bioinformática. Como é que eu gerencio esse monte de sequência? Quais são os programas? Aí, eles meio que dão aquela parada e falam: “Ah!” Então, por isso que eu acho que é uma linguagem, a linguagem das técnicas, e aí no nosso caso é Genética, podia ser qualquer outra, é uma linguagem mais próxima da idade dos alunos. A gente meio... Eu acho que há muito professor que subestima os alunos porque acha que vai ter que dar o detalhe da técnica e na verdade não consegue puxar a técnica para o que ela pode...entendeu? Aproximar o aluno para o tema em si. Eu acho. Então, eu por exemplo adoro, técnica, é comigo mesmo. Tudo o que eu puder falar para eles eu falo, adapto ajusto, mas é legal.

E: Bom, acho que eu consegui saber, mais ou menos o que...

PB5: É eu vou ser o ponto da polemica da sua tese.

E: ((risos))

PB5: Os professores falaram isso, mas teve uma que...

((...Conversas fora do tema da entrevista...))

E: Eu agradeço muito.

PB5. De nada, Espero que você tenha sucesso em sua tese.

## **PB6**

(00:00:05) PB6: Olha. Para ele se tornar um cidadão crítico, é bastante difícil. Porque, veja, você ensina a Genética Clássica, a primeira e a segunda lei de Mendel, os grupos sanguíneos, essas coisas, ele aceita bem, ele gosta e acha emocionante montar heredogramas e acha legal

calcular probabilidade. Agora, é impossível desvincular a Genética Clássica da meiose, da divisão, da Citologia enfim. Porque depois que ele termina um ano inteiro, você pode surpreendê-lo com uma pergunta: “O que é um organismo diploide?” Ele não sabe. Então, não pode desvincular uma coisa da outra. Não pode desvincular meiose, por exemplo, porque a meiose, ela é importante desde o momento em que você ensina a primeira lei de Mendel. O que tem a ver a primeira lei de Mendel com a meiose. Aí depois ela se torna também importante, no momento da segregação independente, quando você trabalha com dois pares de genes. A meiose também se torna independente quando fala em não-disjunção, mutações, síndrome de Down, etc. Então, é impossível desvincular as duas coisas. (00:01:41) Então, eu acho que as duas coisas tem que ser ensinadas concomitantemente: Citologia e Genética. Ao mesmo tempo, você acaba usando isso em Botânica, em Ecologia, em Evolução e as coisas se expandem, né? Mas o aluno aceita bem quando se fala em Genética Clássica. Agora, até herança de sexo, não é problema, trabalhar com Genética de Populações também não é difícil desde que..., eu noto isso porque eu trabalho com alunos de colégio do Ensino Médio, mas também trabalho com os alunos do cursinho. Então, quando no cursinho eu, por exemplo, falo de Genética de Populações, o aluno não sabe o que é frequência de um gene, é impossível checar e eu vejo muitos livros didáticos... a grande maioria dos livros didáticos que nós temos para o Ensino Médio, são feitos por professores de cursinho. (00:02:40) Então, o que acontece: um professor de cursinho ele tem uma linguagem toda particular para poder passar algumas coisas, para deixar o aluno assim, digamos entre aspas: “pronto para resolver o vestibular”. Às vezes consegue, às vezes não. Mas os livros produzidos dessa forma eles são falhos, porque como que o aluno pode entender o equilíbrio de Hardy-Weinberg, que é uma expansão do binômio  $(p + q)^2$ , como ele pode entender aquilo se ele não sabe o que é frequência de um gene. Você entende? Eu acho que existe todo um contexto. A gente não pode subestimar os alunos. Os alunos podem aprender tudo, só que existem formas e formas de se ensinar essas coisas. (00:03:27) Agora quando você começa a entrar em coisas mais modernas como por exemplo transgênicos, eles aceitam a ideia de transgênicos, alguns ainda são relutantes, mas isso ainda já faz parte de um certo passado. Eles aceitam a ideia. Eles entendem o que é um transgênico. Quando você diz que um transgênico é um organismo que contém genes de outras espécies, tudo bem. Só que o como...isso é difícil para eles. Por que? Teríamos que falar sobre a teoria do DNA recombinante. Isso começa a soar um tanto quanto esotérico para eles. Por que? Porque no Brasil o Ensino Médio, ele passa, infelizmente, muito

longe dos laboratórios. As escolas não têm laboratório. Parece que laboratório de Biologia é uma coisa que está desvinculada do Ensino Médio. Quer dizer: então ele, “Bom tudo bem professor, ele tem o gene de uma outra espécie”. Então, você trás milhares de exemplos, fica tudo bem. Mas, no momento do como é que fica difícil, já pensou em falar em enzimas de restrição para eles? Como vai falar em enzimas de restrição, que existem dezenas de tipos diferentes, que são produzidos por bactérias. Para começar bactérias para eles é uma coisa... é um negócio que causa doenças. Para começar. (00:05:16) Agora, quando eles entram na faculdade eles vão começar a aprender a trabalhar com DNA, a tecnologia toda com bactérias. Mas no Ensino Médio, bactérias é um negócio... Então, a Genética Clássica é tranquila, mas quando chega na Genética mais moderna, até enquanto você diz a duplicação do DNA semi-conservativa. Você faz na lousa, bonitinho. Todo mundo entende. Você pode trazer um vídeo, um negócio, tudo mundo entende. Mas agora, transcrição, então o DNA se abre para produzir o RNA mensageiro e aí vai lá faz as proteínas tudo, e tudo isso é uma coisa mecânica, mas dá para entender, existem vídeos muito bons sobre isso. Agora o problema é a parte mais moderna, né? A parte mais moderna passa digamos a anos luz de distância deles, porque eles não tem vivência com o laboratório. Sabe, quando eles foram..., teve a exposição genômica, né?

(00:06:27) E: É a exposição da Revolução Genômica, né?

(00:06:29) PB6 e E: ([No Parque Ibirapuera]).

(00:06:31) PB6: Então, tirar o DNA, mostrar o filamento do DNA de células de banana e coisa assim, tudo bem, mas aquilo é, digamos, é irreal para eles, né? Quer dizer, ele está vendo o fio do DNA, aí ele sai por aí dizendo que o fio de DNA é que nem uma linha que você pode pegar assim. Então, vamos abrir uma célula nossa e pegar o fio de DNA. Entende? Então, eu sinto falta disso, do Ensino Médio das escolas não terem laboratórios para tornar tudo isso palpável. Veja, num laboratório, ou mesmo numa escola que se proponha a ensinar isso, seria tão fácil cultivar as ervilhas do Mendel, por exemplo. (00:07:15) Hoje, depois que o aluno termina o Ensino Médio, ele ainda tem dificuldade em entender que as flores das ervilhas são hermafroditas, que as ervilhas não precisam de agentes polinizadores, que as ervilhas se polinizam sozinhas, a auto-fecundação. Eles têm dificuldade em entender isso. O que, é uma coisa tão simples, uma hortinha na escola ou no laboratório, e eles desde o primeiro ano, entrou no primeiro ano ouviu falar daquilo, vamos cultivar as ervilhas. Uma coisa tão simples cultivar ervilha, dá para fazer até em vasos, em casa.

(00:07:48) E: Então, o senhor me contou um pouco o que o senhor acha que eles têm facilidade de aprender, que seria a Genética Clássica até a Genética Molecular, o senhor acha que é fácil deles entenderem, mas que eles têm dificuldade de compreender a Nova Genética.

(00:08:07) PB6: Sim, se você começa a introduzir os conceitos, os quais eles precisam criar uma abstração para ele entender, fica um pouco mais difícil para eles, né?

(00:08:19) E: Certo.

(00:08:20) PB6: A tecnologia do RNA recombinante é uma coisa complicada, né?

(00:08:25) E: E disso tudo, o senhor acha importante ensinar o que para eles? Por exemplo, que eles saiam daqui de uma aula de Ensino Médio, não falo nem da aula preparatória para o cursinho vestibular, falo mais da aula de Ensino Médio, sair do Ensino Médio sabendo o que?

(00:08:47) PB6: Bem eles precisam saber que: o nosso material genético está dentro do núcleo das nossas células; que todas as células têm a mesma bagagem genética, só que nessa bagagem genética estão os genes; os genes se expressam de modo diferente nas regiões diferentes do nosso corpo e essa expressão diferente leva às particularidades de cada organismo, não é? Então, eu acho que isso é o começo, o fundamental. (00:09:23) Aí depois eles precisam saber os mecanismos simples de passagem dos genes de geração a geração; eles precisam entender que os genes são susceptíveis e sofrem mutações; essas mutações produzem novas características que podem ser boas ou não, quem vai controlar isso é a famosa seleção natural, então todas essas coisas são importantes, não é? Eles precisam saber que existem características ligadas ao sexo. Certo? Então, eu acho que essas coisas são bem básicas para alunos do Ensino Médio. Agora, quando se quer, digamos, entrar em outras áreas eu acho que o aluno aceita as coisas, desde que sejam reais, ele consiga perceber aquilo. (00:09:37) Se eu falar para o aluno: “Olha! Pais de olhos castanhos podem produzir filhos de olhos azuis. Bom, tudo bem”. Ele fala: “Mas isso é fácil”. Ele consegue ver. Você fala para ele “Olha um cão, um cão labrador ele é chamado de dourado, por que os pelos não fixam pigmento... E assim por diante, ele consegue entender tudo isso. Então, eu acho que tem uma parte ótima da Genética que é a interação de genes. Aquilo é muito bonito. Mesmo os exercícios são bastante criativos, ele consegue entender a maneira, a trabalhar com os genes, passar para cá, interpretar os dados, ele consegue tudo isso. Eu acho que isso é importante, um aluno que sai do Ensino Médio saber essas coisas, mesmo que ele vá fazer engenharia, mesmo que ele vá fazer jornalismo, por que não? Claro. Entende?

(00:11:26) E: O senhor chegou a comentar sobre seleção natural. Isso também deveria ser conteúdo que deveria estar bem claro ao longo do ensino de Genética?

(00:11:37) PB6: Sim, porque é difícil, né? Nós dividimos em várias partes a Biologia, aqui nós dividimos em seis partes. Mas nós dividimos em seis partes para ficar didaticamente mais fácil de ensinar. Mas o aluno... nós temos uma programação que é diferente das outras escolas. Nas escolas tradicionais, principalmente no ensino oficial, no primeiro ano você aprende Citologia, no segundo ano você aprende Botânica e Zoologia, e no terceiro você aprende Genética quando você já esqueceu tudo de Citologia. Então, eu acho que algum dia precisa mudar isso. Por exemplo, o que acontece, nós, aqui, nós fazemos diferente. Aqui, o aluno, no primeiro ano, ele tem três professores de Biologia. Todos os três, cada um deles carrega duas partes, um professor carrega Botânica e Ecologia, outro Citologia e Genética e outro Zoologia e Evolução. Mas eles começam da estaca zero e vão até o terceiro ano continuando com essa parte. Então, o que acontece, com as provas, com as revisões, com as aulas e tudo mais, o aluno chega ao final do terceiro ano com todas as partes na cabeça.

(00:13:15) Então, é mole. Aquele professor está falando de Evolução, de Zoologia, aquele está falando de Genética e Zoologia, Botânica e Ecologia, então, ele está vendo tudo progressivamente em nosso currículo em espiral. Então, a nossa estrutura é diferente por que é muito mais prático, o aluno tem contato com todas as partes da matéria o tempo todo. Entende? Então, funciona melhor assim. Então, dá para trabalhar bem, né? Porque quando você fala em mutações... é isso que eu tava dizendo... quando você fala em mutações, você naturalmente está falando na alteração do DNA. Bem, ele tem uma ideia do que é o DNA. Sim, mas aquela alteração, ela produz uma nova característica, desde que seja uma alteração estável. Então, produz uma nova característica, bom aquela característica aparece no meio da população. Bem, se ela for boa o indivíduo consegue crescer, se reproduzir e deixar descendentes, se ela não for boa, o indivíduo pode morrer antes de nascer, pode morrer logo depois, ou pode ser estéril, então, quem controla tudo isso? Não somos nós, é a seleção natural. Então, ele tem que saber que a seleção natural está vinculada a tudo isso. E outra coisa, eu acho que desde que o aluno nasce, lá na estaca zero, tem que ser ensinado para ele que os humanos fazem parte da natureza, não estão fora da natureza. Então, eu acho que é isso, né?

(00:15:10) E: Então, o senhor me falou alguns conteúdos que o senhor acha importante, desde o aluno saber que o DNA está dentro de uma célula, como que funciona, que todas as células

do organismo tem a mesma bagagem genética, que em diferentes partes do corpo os genes vão se expressar de modo diferente, que existe a passagem de geração para geração, como funciona essa passagem, e aí eu acho que inclui um pouco de Mendel, não?

(00:15:44) PB6: Sim, inclusive probabilidade também inclui muito, né?

(00:15:49) E: Mutações, produção de características...

(00:15:52) PB6: Grupos sanguíneos.

(00:15:54) E: Grupos sanguíneos ((repetiu tomando nota)).

(00:15:56) PB6: Um dia desses passou uma novelinha na Globo. Eu acho a Globo tremendamente perniciosa para a população brasileira, porque a Globo se preocupa com a audiência, mas não se preocupa com o conteúdo. Então, era uma situação muito incorreta. Dizia que duas pessoas, uma pessoa A e uma pessoa B não podia ter filho do grupo O. O que é uma bobagem isso, como não pode ter? Então, isso passa para a população e o aluno vem perguntar: “Professor, mas eu vi na novela...” “Então, você já ferrado, assistiu novela...” Então, por que não fazer isso? Por que não ter um consultor técnico para se fazer essas coisas? Então, grupo sanguíneo é uma coisa tão simples, eles estão envolvidos sempre em doação de sangue e tudo mais. Então, eu acho que essas coisas são tranquilas de serem colocadas para os alunos e eu acho que eles têm que sair do Ensino Médio sabendo de tudo isso.

(00:17:02) E: Certo. O senhor falou também de características ligadas ao sexo, seleção natural, interligado ao conteúdo de Genética, que também é importante, Citologia também interligada a isso. Bom, essa seleção que o senhor fez, ela é importante por que? Assim, [por que esses conteúdos são básicos?

(00:17:32) PB6: (Ela é importante)] porque isso faz parte do dia-a-dia deles. Concorda? E isso vai de encontro ao que você disse, um cidadão crítico, um cidadão que ouve alguma coisa e ele já sabe do que se está se falando. Veja eu ensino para os alunos, no caso da herança, por exemplo, que existem mulheres hemofílicas, e que não tem nada demais. O problema é que a mulher hemofílica é mais rara, porque frequência do gene para hemofilia é uma frequência muito pequena. E ela, para ser hemofílica, precisa ter dois genes. Mas eles ouvem falar que hemofilia só existe em homem. Imagina, mulher, logo na primeira menstruação ela morre. E na verdade não tem nada ver isso. Porque o problema da hemofilia não é... O problema da hemofilia é coagulação do sangue, ausência de coagulação. Mas na mulher, a menstruação é hormonal, não tem nada a ver uma coisa com a outra. (00:18:30) Mas ele pega..., eu não sei atualmente como está, mas ele me trouxe um folheto da Associação Brasileira de

Hemofílicos que está escrito lá que a hemofilia é doença, uma doença, que não é uma doença, é uma anomalia genética, exclusivamente masculina. Você acha? Então, ele tem que conviver com essas coisas. Quantas e quantàs vezes... veja!, só aqui ((refere-se ao nome da escola)), eu estou desde 1980, estou a quase 30 anos aqui. E eu já vi de tudo. Sabe uma época eu dava aula à tarde também e à tarde é uma turma bem heterogênea, você encontra jovenzinhos que estão fazendo o terceiro colegial e querem estudar à tarde para fazer cursinho para ganhar um ano na vida, desde senhoras que querem entrar na faculdade, fazer o cursinho à tarde, nenhum problema. Mas, mais uma vez: “Ô professor, o meu marido é médico. Ele disse que não existe mulher hemofílica.”, “Meu pai é médico, meu pai falou que não...”, e assim por diante. Então, eu acho que o aluno tem que saber disso para se tornar um cidadão crítico, ele tem que fazer essas coisas. Fica muito ruim isso.

(00:19:44) E: Eu percebi que esses conteúdos que o senhor selecionou, eles estão mais ligados ao que é o DNA, a natureza dele, como ele se expressa...

(00:19:57) PB6: Para que ele serve...

(00:19:58) E: Para que ele serve, então eu fiquei na dúvida: no caso de..., como o senhor citou as mutações eu acho que incluiria, no caso incluiria aqui também a Genética Molecular, a Biologia Molecular?

(00:20:00) PB6: Sim. DNA, o RNA. Porque, por exemplo, eles ouvem falar muito em AIDS, HIV. Bem, você fala em AIDS e em HIV, você tem que falar que o HIV é um RNA vírus e ele usa a transcriptase reversa do RNA para produzir o DNA na célula hospedeira. Então, ele tem a ideia do que é DNA, o que é um RNA.

(00:20:44) E: E por exemplo, esses conteúdos mais novos que estão surgindo agora em decorrência das novas tecnologias, da Nova Genética?

(00:20:52) PB6: É basicamente são dois, clonagem e transgênicos.

(00:20:53) E: É transgênicos, células-tronco, basicamente são esses... O senhor acha que esses conteúdos, eles são secundários, de repente eu não sei se o senhor acha que têm alguma importância, talvez tenha alguma importância...

(00:21:10) PB6: Eles são importantes, são importantes, são importantes e fazem parte do dia-a-dia deles. Eles ouvem falar dessa batalha para aprovar o trabalho com células-tronco.

(00:21:21) E: Certo. E o senhor acha que, por exemplo, eles são básicos, os alunos não podem sair do Ensino Médio sem ouvir falar sobre eles, ou o senhor acha que eles são secundários,

são interessantes, são importantes, mas não são essenciais. Por exemplo, se o aluno sair daqui sem sabê-los, ele vai ainda assim se tornar um cidadão crítico. Como o senhor enxerga isso?

(00:21:48) PB6: Não... eu acho que eles têm que ser ensinados, eles têm que saber isso. Porém, antes, eles têm que saber tudo isso que eu citei, porque não adianta falar para eles sobre clonagem sem que eles saibam todo um processo de multiplicação celular, mitose, meiose, e a Genética em si. Então, nosso programa, quando, por exemplo, quando nós falamos em Embriologia, logo no início da Embriologia, se fala em gêmeos monozigóticos, gêmeos dizigóticos, gêmeos monozigóticos já é uma clonagem natural, e assim por diante. Então, tudo isso vai sendo colocado para o aluno. Eu apenas me referi à Genética Clássica, falando de uma escola comum, básica, então o aluno tem que saber aquilo. Agora, é claro que é importante, ele ouve falar, ele ouve até na rede Globo falar em células-tronco. Ele ouve falar em transgênicos. Ele ouve falar dessa briga daqueles radicais, por exemplo, no Rio Grande do Sul, que são contra os transgênicos porque eles acham que os transgênicos são carregados de pesticidas, sabe aquelas bobagens todas, né? Eles ouvem isso na televisão. Então, eles querem saber. Mas antes eles têm que ter aquela bagagem para poder entender, porque se não eles se deixam envolver, por questões ideológicas, por exemplo. E a Ciência não tem nada com questão ideológica. Certo?

(00:23:26) E: Então, o senhor acha que é possível. Dentro do Ensino Médio cabe ele aprender esses conteúdos básicos que o senhor falou, e também esses conteúdos... Assim, eu pergunto porque alguns entrevistados acham melhor deixar isso para algum outro momento da vida deles, eles se informarem depois...

(00:23:46) PB6: Não, Não, de maneira alguma...

(00:23:56) E: ...e focar na Genética Clássica, porque o entrevistado considera que se for tentar dar conta das duas coisas, são muitos conteúdos, eles acabam não dando conta de aprender tudo. Você acha que não? É possível pela experiência do senhor?

(00:24:14) PB6: Olha, eu acho que é possível porque são coisas decorrentes, uma decorre da outra, porque você não vai desvincular para considerar algo a parte, que só pode ser ensinado depois e olha é melhor deixar, não? Eu acho que tudo pode ser ensinado. Eu acho que a base é a Genética Clássica, em cima dessa base quando você ensinou DNA, RNA, você já pode ensinar o que são transgênicos, embora a metodologia para ele compreender seja difícil. Mas ele entende que... eu falo para ele que existe hoje em dia, existem eucaliptos transgênicos para produzir mais celulose e com isso você corta menos árvores para produzir papel. Ele entende

isso. Ele entende quando eu falo para ele que existe o milho Bt. O milho Bt tem o gene de uma bactéria para produzir uma toxina que é só tóxica para as lagartas. Ele entende tudo isso, não tenha dúvida. Agora, se ele me perguntar como é que faz para pegar um gene e botar no milho. Isso é mais difícil dele entender, em virtude de não ter um laboratório, “Vamos para o laboratório, que eu vou te explicar como faz”. Isso, aí...

(00:25:28) E: É mais difícil dele entender..., é essencial que ele entenda...

(00:25:35) PB6: Que ele saiba o que é.

(00:25:36) E: Então, o senhor acha que tem que ensinar a técnica de como é feito uma clonagem, como que é feito um transgênicos, é importante ele saber a técnica?

(00:25:42) PB6: É importante ele saber o que é, agora como faz, já é mais difícil, você concorda?

(00:25:52) E: Mas minha dúvida é assim: sendo mais difícil, o senhor acha que é essencial que ele saia daqui sabendo isso?

(00:26:03) PB6: Sim, sim,

(00:26:04) E: mesmo sendo mais difícil, você acha que é essencial que eles saibam?

(00:26:07) PB6: Mesmo sendo mais difícil, por que existe um questionamento no dia-a-dia dele, que ele ouve falar em células-tronco, então ele precisa saber o que são células-tronco, mesmo que você não tenha ali para mostrar para ele, sabe, mas ele precisa saber. Ele precisa saber por que a soja transgênica é importante ou não é importante. Ele precisa saber que aqueles raio daqueles cereais que ele come de manhã, parte deles são transgênicos, mas não está escrito no pacotinho. Por que não está escrito? Às vezes eles perguntam isso: por que não está escrito? Porque o Brasil tem uma legislação ambiental das mais modernas do mundo. Só que no Brasil nós estamos acostumados a não cumprir as leis. As leis são feitas para os outros, nunca para nós. É por isso que ele nunca fica sabendo. Ele não ouve falar. Mas essas coisas têm que ser ensinadas.

(00:27:01) E: E na prática do senhor, o senhor falou que eles têm mais dificuldades em aprender as técnicas que envolvem essas novas tecnologias, uma dificuldade de entender como elas são realizadas. Né?

(00:27:17) PB6: Isso.

(00:27:18) E: Na prática do senhor, mesmo ele tendo mais dificuldade ele sai do Ensino Médio sabendo isso, ou então ele sai com alguma noção, mas ainda confuso, assim, como que ele sai do Ensino Médio? Não sei se vocês conseguem abranger tudo isso. Se é possível...

(00:27:40) PB6: Nós conseguimos abranger tudo isso. Agora é difícil, eu não saberia dizer para você como o aluno sai. Vai depender muito da escola, da política da escola, da política de ensino, vai depender do próprio professor que está ensinando as coisas para ele. Primeiro a gente não pode subestimar o aluno. Muitas vezes eu ouço professores, nós temos convênios com outras escolas do interior, etc, muitas vezes o professor chega aqui e fala: “Ah, mas os nossos alunos lá não têm condições para aprender isso. (00:28:19) Como é que pode ser uma coisa, o que que é isso? Como é que o aluno não tem condição? Quer dizer, o aluno tem um cérebro menor? Como é que é? Tem menos neurônios? Eu acho que o aluno tem condições de aprender. É claro que você deve chegar num ponto em que ele consiga alcançar e entender com aqueles subsídios todos que você deu para ele. Agora, eu não posso, explicar para ele, mesmo porque, por falta de laboratório, por falta de uma química que ele precisa saber para fazer todos aqueles experimentos. Isso, sempre isso ele vai aprender em nível universitário. Mas eu consigo chegar e dizer para ele o que é um organismo transgênico. Então, quando ele ouve falar em organismo transgênico ele pode julgar de acordo com o que ele aprendeu, por exemplo, comigo, quando ele ouve falar que a clonagem pode ser importante para preservar alguns animais em extinção. Ele consegue entender o que é clonagem. (00:29:24) Ele consegue entender que as células-tronco são pluripotentes e que podem vir no futuro... e não fazer promessas vãs como a imprensa faz, no futuro podem vir a se transformar em ferramenta extremamente útil para tentar a cura de anomalias genéticas e tudo mais. Então, o aluno tem que saber tudo isso. Agora, de novo eu insisto, a tecnologia, como é feito isso, ele vai aprender em nível universitário. Porque só as faculdades, em boas faculdades, não são todas, têm laboratório para que eles possam aprender a trabalhar com isso. Mas isso pode estimular ele a se orientar para uma área da saúde, por exemplo. Sabe, essas coisas são estimulantes para os alunos.

(00:30:10) E: Então, deixe-me ver se eu entendi, o senhor acha que na verdade ele vai acabar aprendendo mais no Ensino Superior, a técnica ...

(00:30:19) PB6: Sim. A técnica no Ensino Superior.

(00:30:21) E: ...mas o senhor acha importante também abordá-la no Ensino Médio?

(00:30:26) PB6: Sim. Sem dúvida, sem dúvida.

(00:30:27) E: Tá. Eu entendi.

(00:30:28) PB6: Sem dúvida, sem dúvida.

(00:30:30) E: Mesmo que ele não tenha uma aprendizagem efetiva no Ensino Médio seria importante...

(00:30:34) PB6: Seria importante ele abordar, né? A gente não pode...como é que a gente fala? (00:30:38) A gente não pode...

(00:30:41) E: Subestimar?

(00:30:42) PB6: Não, não é subestimar é... tem uma palavra para isso... é uma palavra... Bom, uma hora dessas eu vou lembrar. Mas, não pode deixar de dar as informações para os alunos. Porque eles estão na escola para aprender. Se eles não aprendem na escola, eles vão aprender onde? E de que modo vão aprender? Não é? Por aí eu acho que é muito importante, muito, muito, que o professor esteja preparado, sabe. Que o professor prepare as aulas, que o professor estude, que o professor, na medida do possível compre livros, quando ele não pode comprar, que a escola compre e ele se aperfeiçoar, para ele estudar, porque, se não o cérebro vai fossilizando na gente, se a gente não fica constantemente se atualizando, a gente passa a ensinar coisas ultrapassadas, coisas velhas, coisas que não tem sentido para o aluno. Está certo?

(00:31:40) E: Dentro dos conteúdos que eles têm de Ensino Médio, que estão nos livros didáticos, nas apostilas, que até às vezes são exigidos pelos vestibulares, o senhor vê algum conteúdo que o senhor acha que seria secundário? Não que ele tenha que ser necessariamente excluído do Ensino Médio, mas que ele é secundário. No caso de, por exemplo, se o senhor estivesse em uma escola que tivesse pouco número de aulas e tivesse que dar prioridades, de repente o senhor deixasse esse conteúdo em segundo plano.

(00:32:27) PB6: Eu sou muito crítico para isso, é difícil eu responder isso. Eu acho que eu não faria isso, não sei. Porque eu acho que tudo é importante, não sei se tem alguma coisa...

(00: 32:46) E: Porque tem algumas pessoas que falam: “isso eu não sei porque a gente ensina para os alunos, porque não vai ajudá-lo em nada. O senhor não vê assim, tudo é importante?”

(00:33:00) PB6: Não, não vejo. Eu acho que tudo é importante. Se a gente começar a pensar assim, a gente vai começar a cortar um monte de coisas, um monte de coisas. Sabe, e eu sou ao contrário. Eu sou a favor de colocar mais coisas, e não cortar, né?

(00: 33:16) E: Certo.

(00:33:21) PB6: Porque depois não dá para dormir legal. Você vai dormir e fala: “Pô! Eu deixei de ensinar aquilo. Então, veja, eu sou tão crítico, tão crítico, que, por exemplo, eu tenho algumas turmas de cursinho e uma de Biológicas. Então, é muito repetitivo, né? Naquela

semana você vai ensinar, sei lá, Genética de Populações. Então, eu preparo todo ano. Todo ano eu preparo as aulas, entendeu? Eu já dei essas aulas mais de 50 vezes, mas eu preparo. Então, eu falo muitas coisas para uma turma, aí na segunda aula, eu me proponho a falar aquilo e mais alguma coisa. Mas, uma coisa que me deixa muito bravo é se por algum motivo eu não consigo falar aquilo que eu falei. Por que eu falei para uma turma e não falei para a outra? Então, eu procuro não esquecer, procuro centrar bem, focalizar as coisas que eu preciso, por que eu acho que tem que ser ensinado, né? Tem que ensinar, porque o aluno pode não ter outra oportunidade na vida. Então, aquela oportunidade tem que ser aproveitada. Mesmo você olhando para a sala e às vezes você vê alunos que estão em outro mundo, né? Mas eu acho que existem aqueles que estão acompanhando o que você fala. E como eu digo, eles podem não ter outra oportunidade de ouvir aquilo, de aprender aquilo... Ah! Agora eu lembrei: subornar conhecimentos... ((se referindo a palavra que não se lembrava anteriormente)). Subornar informações. A gente não pode fazer isso. Tem que ensinar tudo para o aluno. ((risos))

((Conversas externas ao foco da entrevista))

(00:37:49) E: O que eu precisava saber, eu acho que o senhor já me delineou. Não sei se o senhor tem mais algum comentário a fazer, algo para complementar.

(00:37:59) PB6: Não sei. Como eu te disse eu sou muito crítico né? Eu sou muito crítico, então se você pegar, provavelmente, um professor do Ensino Médio de uma escola, pegar ao acaso no Brasil inteiro, você vai ver que é totalmente diferente do que eu falei para você. Então, eu sou muito crítico. Eu acho que o aluno tem que ser cobrado. Você vê, a minha vontade de explicar tudo isso, também está associada ao fato que o aluno tem que ser cobrado. Se você não cobra, o que adianta? Ele reteve o que? Como é que você vai saber o que ele reteve? E depois, ele terminando o Ensino Médio, o fim do Ensino Médio, na verdade, não dá nenhum título ao aluno. Então, uma grande prova de que ele reteve ou não reteve é o vestibular, quer queira, quer não. Talvez seja testes ou escrito, tanto faz. E a partir dali ele vai, quantos alunos, muitos alunos aqui no cursinho eles voltam, para, depois quando eles estão fazendo a faculdade, eles ganham uma graninha trabalhando, distribuindo apostilas, essas coisas, né? E eles falam: “Oh professor! Pô! Eu tive uma aula de mutações, de síndrome de Down... Pô! Eu sabia tudo o que o senhor tinha ensinado”. Então, esse é apenas um misero exemplo, mas os alunos voltam falando de... E eu digo para eles que o cursinho é o lugar que a gente começa a se organizar para aprender a estudar. Começa a funcionar o cérebro, começa

tudo, né? E é uma época muito legal. Mas é isso, quando começa o primeiro, segundo, terceiro ano da faculdade, ele vai ter de novo certas coisas que ele aprendeu e o caminho vai ficar um pouco mais fácil para ele.

(00:39:56) E: Então, isso ajudaria tanto para a formação dele como cidadão crítico, mas para o prosseguimento dos estudos dele.

(00:40:04) PB6 Sem, duvida, porque você imagina, um aluno, vai fazer jornalismo, para que ele precisa saber essas coisas que eu estou falando? Para não escrever imbecilidade no jornal dele. Ele precisa ter um senso crítico. Sabe, ele não pode escrever ao acaso. Ele está escrevendo para pessoas, isso supõem-se que as pessoas vão ler as notícias que eles estão escrevendo. Então, ou ele se torna um jornalista confiável, um jornalista sério, ou então ele vai escrever sobre fofocas da alta sociedade do dia-a-dia, coisas inúteis, né? Porque... Embora isso possa até dar IBOPE para ele. Entendeu o problema? Aqui nós temos alguns casos bizarros. Mas são casos tão bizarros que eles servem às brincadeiras na hora do intervalo, para relaxar um pouquinho, de uma aluna, de uma moça da turma de humanas. (00:41:06) O professor de literatura estava explicando regras gramaticais aplicadas à literatura, aí na hora ela se desesperou, “Professor, eu odeio tudo isso que o senhor está falando! Eu não sei porque a gente precisa saber de gramática”. Ele falou: “Moça, mas você vai fazer qual curso?” Ela falou assim: “Eu vou fazer jornalismo”. Quer dizer, esse pessoal acha que fazer jornalismo é ficar bonitinho, pegar o microfone e aparecer na tela da globo. ((risos)) Jornalismo não é isso. Ou você faz as coisas bem feitas ou então não adianta fazer.

(00:41:46) E: Certo. Muito obrigada professor,

(00: 41:50) E: Imagina.

## **DB1**

(00:00:50) DB1: Você me mandou um *e-mail*, né, eu pensei que era só de Genética, mas aí eu pensei vai ver que ela também está pensando na parte de Biologia Molecular. É, eu pensei, a primeira coisa, eu acho, que antes de entrar no conteúdo em si, eu acho que é importante os conteúdos, os conceitos, mas, mais do que isso, eu acho que isso é até uma coisa que a gente tem na disciplina de Genética básica, né?, é como o conhecimento é gerado. Nem sempre dá

para você entrar tanto na história de como o conhecimento é gerado, porque você às vezes não consegue avançar muito no conceito. Mas para se formar um cidadão crítico, se ele recebe o conceito pelo conceito sem questionar como o conceito foi gerado, essa parte crítica perde um pouco de... Então, eu acho que isso é um aspecto fundamental. Tanto que na nossa disciplina, eu acho uma coisa legal, que a gente sempre... (00:01:55) Então, eu acho que independente de se pensar quais são os conteúdos é sempre interessante se focar historicamente, com alguns pelo menos, não dá para ser todos, alguns desses conceitos foram gerados experimentalmente, como que cientificamente chegaram a eles.

(00:02:16) E: Tá. Através da História da Ciência.

(00:02:18) DB1: Então, por exemplo, eu não acho que o livro do Griffiths, tenta dar essa filosofia, vamos dizer assim. Então, apesar de você pegar o conhecimento nessa área, a explosão do que está sendo gerado, é incrível em informação. Então, se a gente se preocupar em dá toda informação é uma loucura. Então, eu acho que como uma fonte o Griffiths é um... Inclusive eu sei dele muito pelo professor ((fala o nome do Docente)) que é uma pessoa que influenciou muito a disciplina de Genética, ele teve uma ( ) mas voltada para o Ensino Médio, então ele foi sempre muito a favor disso e eu concordo. Então, na disciplina de Genética que tinha esses enfoques. Eu pensei em uns conceitos, então por exemplo: até se você quiser eu te deixo essas... ((se refere às anotações que havia feito ao refletir sobre a pergunta)).

(00:03:19) E: Anotações?

(00:03:20) DB1: É anotações. Eu falei é bom eu já fazer minha lição de casa, porque ((risos)).  
DB1: Então, por exemplo, eu pensei: padrões de herança, primeira e segunda lei de Mendel. Uma coisa que é legal, eu não sei se o conceito, mas como que chegou que o DNA é o material genético, né? Paralelismo entre a segregação de genes e a segregação dos cromossomos. Então, já está aí no meio dessa coisa que eu já estava colocando. Ligação gênica e mapeamento. Como foi estabelecido que o DNA foi o material genético. (00:04:02) Um pouco de expressão gênica. Mas, expressão gênica é uma loucura, né? É um conceito triunfal mas tem tanta coisa agora com essa coisa do RNA, então você tem... É sempre uma coisa que é difícil. Eu estou meio distante desse universo para te dizer assim exatamente. Algumas coisas eu posso te dizer que não deveriam ter, por exemplo, eu acho que epistasia é um conceito que eu acho que não deveria é um conceito... (...) A epistasia foi um conceito gerado pela Genética, quando a Bioquímica não estava tão relacionada, né? Então, muitas vezes a epistasia... Você fala: Ah! Aquela gene está... Um alelo está inibindo o outro gene, e

às vezes não tem nada a ver, né? É o caso do albinismo, né? Você fala tem epistasia, dá a entender que um gene está inibindo o outro, mas eles estão na mesma via da biossíntese da melanina. (00:05:05) Então, é um conceito que ainda tem em livros e tudo, mas eu acho que já que você tem que cortar alguma coisa, porque eu acho que a informação, eu acho que a Biologia, eu estou falando na minha época de aluno, porque realmente eu não estou tão... eu acho que é muita informação que os alunos percebem. Outra coisa, aqueles ciclos diplobionte, haplo/ não sei o que, é uma coisa que eu acho que devia ser... Não sei se ainda é dado. Então, é uma coisa que eu fico meio assim, eu falo um pouco das ideias que eu tenho, mas eu nem sei muito a situação atual do Ensino Médio. Eu sei que a gente tem uma responsabilidade nisso, porque o vestibular aqui serve como uma referência para as escolas do Ensino Médio montarem seus currículos. (...)

(...)

(00:06:12) DB1: Outros conceitos: recombinação, *crossing over*, interação gênica e mutação. Eu acho que isso são alguns dos conceitos que eu acho que... mutação no sentido que é o processo que gera novos alelos. Então, eu acho que seria o fundamental para Genética e Genética Molecular. Isso é muito óbvio também né? Quer dizer, o quanto de detalhamento você vai entrar nisso, eu acho que não pode ser muito. Filosoficamente, eu acho que esse é o conceito mais importante, né? Não dá tanta informação e a parte crítica é você tentar reconstruir para o aluno como que o experimento, as descobertas estavam sendo feitas e como foram sendo interpretados todos esses resultados pela comunidade. Mostrar que nem sempre uma descoberta é de cara aceita. (00:07:29) Mesmo Mendel, é uma coisa interessante, Mendel, a redescoberta de Mendel, mesmo depois de 35 anos que as leis foram redescobertas, todo o questionamento que ainda tinha... quer dizer eu acho que isso é importante para entender como é que um conhecimento foi gerado e que não existe uma verdade absoluta. Dessa forma crítica, alguns alunos ficam mais...né?

(00:08:04) E: (...) Com relação à Biotecnologia, o que está sendo descoberto agora, seria conveniente abordar no Ensino Médio?

(00:08:18) DB1: Eu acho que alguns tópicos é interessante, porque é sempre uma forma...pensando...eu não sei tanto construtivismo... mas são coisas que, são conceitos que... Eu acho que você não pode entrar em muito detalhamento, que seria muita informação, né?

(00:08:32) E: O que seria importante? Que tópicos?

(00:08:35) DB1: É. Você tem aí coisas que estão na mídia falando de células-tronco, de alguma forma você poderia abordar, transgênico...Eu acho que são assuntos que estão na mídia que chamam a atenção, que a pessoa..., genoma, enfim, que podem motivar o aluno para estudar né?, porque se não a coisa. Agora tem que se tomar o cuidado de não se entulhar o aluno de informação de uma forma que ele pense que aquilo é uma verdade, que aquilo. Uma coisa que às vezes que eu acho que acontece, às vezes na mídia e aí que é uma coisa que a gente não consegue muito é criar essa panacéia, células-tronco, vai achar que vai curar todas as doenças no dia seguinte. Sabe que não é. É um processo que talvez, que a gente não sabe quando, porque é difícil, porque, por exemplo, se a gente soubesse que iria curar alguma doença, já estaria sendo feito. Então, o pessoal fala, “ah não daqui a 5 anos vai ter...” essas coisas que aparecem na mídia e que também, que eu acho que desinformam, né? Então, eu acho que de alguma forma, essas eu acho que são até momentos, eu acho que no fundo o que cabe, o maior problema... eu estou longe do Ensino Médio... mas procurar ficar... era a formação do professor, né? Se o professor tem uma formação de conhecimento boa para poder... também de uma forma crítica abordar tudo isso, eu acho que é muito positivo. Quer dizer, são momentos que podem ter debates em sala de aula, que é uma forma de se mostrar que o conhecimento não é uma coisa rígida, que você tem diferentes versões, você tem diferentes visões. Daí a questão política fica mais forte.

(00:10:48) E: Na hora de selecionar os conteúdos, por que o senhor considerou esses básicos? Qual foi o critério utilizado para escolher esses como básicos?

((Conversas que não estão relacionadas ao foco da pesquisa)).

(00:13:17) DB1: Eu acho esses importantes, porque são conceitos que vêm da Genética Clássica e que até hoje são muito bem estabelecidos nos fenômenos que se estuda, mais complexos, mas que no fundo estão embutidos ali. Então, eu acho que ainda são atuais, vamos dizer assim, né? Padrão de herança, primeira e segunda lei de Mendel, gene e alelo, essa é uma outra coisa interessante, quer dizer, você tem tanta informação e alguns conceitos você mesmo... Isso é comum em Ciências, você ter campos diferentes, né? Muitas vezes a pessoal se refere ao alelo como um gene, né, então às vezes não fica claro, no texto mesmo, que alelo são variações do gene, né? Então, esse tipo de coisa que às vezes vale a pena você... Sem dúvida, esse é o básico do básico. O objeto de estudo da Genética, é o gene. Então, tem que saber que tem gene, tem os alelos, heterozigoto, homozigoto, dominante, recessivo. Toda essa... Que isso de certa forma eu acho que já está sendo abordado, né? O que eu me lembro é

que tem coisas no Ensino Médio que eu acho um absurdo, eu lembro que tinha aqueles ciclos né: os haplobiontes, diplobiontes. Aquilo tudo a gente nem dá na nossa disciplina.

((Conversas que não estão relacionadas ao foco da pesquisa)).

(00:20:26) DB1: Eu acho que esses seriam os básicos ((se referindo aos conteúdos selecionados)), agora o que vai só, é a questão de profundidade em cima deles, quer dizer você pode puxar mais exemplos, e aí vai um pouco do tempo. Eu acho que o problema do Ensino Médio, na verdade, não são os conceitos, a fórmula, eu acho que estou um pouco longe, mas é a minha concepção de ensino público, é a formação do professor, eu acho que é a questão. Infelizmente eu acho que esse que é o ponto. Mas respondendo a sua pergunta eu acho que seriam esses os conceitos...E que eu não tinha pensado, mas que você levantou e eu achei interessante sim, colocar temas que saem da mídia e que chamam a atenção. Células-tronco, tem toda uma esperança que vai solucionar ou não uma série de problemas. Eu acho que ainda é uma esperança, quer dizer. É uma oportunidade que podia ter em sala de aula, por exemplo, debates para discutir até que ponto, qual é o limite, até onde pode ir, o que pode ser feito, transgênico... E aí você pode usando esses exemplos, usar alguns desses conceitos e ir colocando, né?

((Conversas que não estão relacionadas ao foco da pesquisa)).

(00:22:10) DB1: Genética básica que eu estou colocando, seria Biomol também, né? Que é a Genética Molecular. Eu acho que tem que saber que o DNA é o gene, que o DNA é expresso, tanto que é transformado em RNA e depois em proteínas, que tem uma regulação, o que faz um neurônio ser diferente, aí que vai da formação do professor, né? Não pode entrar em muito detalhe, mas tem coisa que você pode puxar, por exemplo, o que que faz um neurônio ser diferente de uma célula da pele se eles têm o mesmo DNA, mesma informação genética. Então, você pode puxar expressão gênica, você pode transitar da Genética Clássica para a Biomol, o que faz o fenótipo de uma planta ser diferente da outra molecularmente? É aí que vai, então, de conseguir não deixar as áreas estanques e tentar fazer a ida e a volta, aí, né?

(...)

(00:26:33) DB1: Primeira e segunda lei de Mendel é uma coisa que não tem como não falar, dominância, autossômico dominante, autossômico recessivo, ligado ao sexo. E aí quando você está falando de gene né, tem que falar de homocigoto, heterocigoto, dominância, recessividade, está tudo meio interligado, né? Ligação gênica, você também vai falar um pouco de mapeamento, eu não sei o quanto você pode aprofundar nisso. Eu acho que o ideal é

você conseguir fazer a ida e a volta mostrando que o DNA é o material genético, então que o DNA de um alelo é muito parecido com o DNA do outro, mas tem algumas modificações, então, apesar de Mendel não ter visto isso, você pode puxar para Biomol, porque às vezes o cara não vê, né? Porque no fundo, em termos moleculares, qual a diferença entre dois alelos, são pequenas substituições de bases que podem fazer a semente verde e amarela que é o... até eu acho que saiu isso em alguma publicação, o que faz, eu até acho bonito isso, bom Mendel viu atrás que existe a semente verde e amarela, molecularmente, agora mais atual, o que isso quer dizer? (00:27:50) Ah, é um gene tal que..., não precisa explicar com tanto detalhe, mas mostrar que é a sequência de base que está dando a informação do DNA, se vai dar uma proteína diferente. Então, se você ficar pulando da Genética para Biomol, e não ficam duas áreas estanques, que parece que são duas áreas..., que vai ficando com compartimentos na cabeça de... Então, eu acho que dentro do possível, por isso que eu gosto do Griffiths, eu pessoalmente, não são todos os docentes dessa disciplina que concordam, eu gosto desse enfoque por que ele quebra um pouco essa coisa estanque de, você vai fundamentar, eu acho que filosoficamente como forma, o que eu acho que é mais importante, mesmo não sendo cronológico, é você estar sempre mostrando como que o experi/ como que foi gerada a informação. Tem umas coisas mais ricas que se deve ter para comentar é como se chegou que o gene é feito de DNA, né? Que tem todos experimentos absolutamente legais. Depois chegam Watson e Crick que é...né? Dentro do possível, eu não sei comparar em termos de tempo né? Tem outras disciplinas, tem Física, tem Química, é difícil para eu...eu estou bem longe.

(...)

(00:29:19) DB1: Dentro de ser mais ideal, assim, era se tivesse um entrosamento entre o professor de Biologia, o professor de Química, para na hora que está falando do DNA, aí também já tem informa...né? Para mim isso seria o ideal né? Não é fácil, é super difícil isso. Dentro do possível, era até se você conseguisse ter um entrosamento para que esses conteúdos de diferentes disciplinas de Ciências e tudo fossem, ou até então de outras áreas, fossem evoluindo de uma forma que você fosse transitando, e seria super bonito.

(00:29:52) E: Ahã. Certo. Mas é mais isso. Porque assim, um dos problemas da minha pesquisa é delinear quais os conteúdos que eu vou ter que analisar, também. E se for pensar, a gente começa a ver os conteúdos de Genética e acha tudo importante. Então, mas o que é mais básico? O que é prioridade? O que o aluno não pode sair de lá sem saber? Vamos dar

prioridade a estes, né... E aí nos vimos que seria também algo interessante como objetivo da pesquisa, como objetivos também ver na opinião de professores de docentes da área o que eles acham, quais seriam os conteúdos básicos.

(00:30:32) DB1: Por sugestão aqui até se você chegasse... é... como é que é o Ensino Médio em outros países? Eu acho que seria interessante ter essa avaliação, comparar com o nosso. Se você fizesse isso depois eu até queria ver, depois se você me mostrasse, por que é uma coisa, eu acho que falta um pouco, a gente faz muitas coisas meio amadoristicamente, né? Afinal, a gente aqui também tem que fazer pesquisa, tem que administrar, tem que dar aula e agente vai fazendo meio... “eu acho...”, por isso que eu estou te falando “eu acho”. Será que é mesmo? Até agora a gente está numa nova fase que eu acho que é legal. É o que eu estava te falando, tem o núcleo básico de dois anos, que a gente tentou selecionar as disciplinas que são básicas e os dois últimos anos, então, a pessoa meio que se especializa. Então, aí tem bacharelado, vai ter muito mais espaço para disciplinas optativas e aí de licenciatura que não vai ser só lá na Educação ((se referindo à Faculdade de Educação da universidade)), vai ter umas disciplinas de licenciatura aqui. E aí, por isso que eu falei da ((refere-se ao nome de uma docente entrevistada)), tem a ((repete o nome da docente)) e a professora ((refere-se ao nome de outra docente, também entrevistada)), que eu acho que são pessoas que estão até que mais preparadas do que eu. Eu não pesquiso em educação. Então, o que eu estou falando é um acho muito intuitivo e acho que pouco científico, pouco embasado. Então, talvez se eu tivesse mais informações, algumas coisas que eu te falei agora eu poderia até mudar de opinião.

((Comentários fora do enfoque da pesquisa))

(...)

## **DB2**

(01:10) DB2: Bom, eu acho que o básico, o básico, o básico de tudo é...ãh...na parte da Genética Clássica são as leis de Mendel. Certo? Agora as leis de Mendel elas só fazem sentido para o aluno se ele souber a teoria cromossômica da herança, ou seja, se ele souber associar os processos de divisão celular, o que são os cromossomos, o que é o cromossomo, aonde está o material hereditário, o que é o gene, onde ele está localizado e como esse material se segrega na formação dos gametas, né? Então, o processo de meiose. Ele só vai

entender as leis de Mendel se ele entender essa relação que existe com a própria divisão celular que por outro lado faz parte de cada unidade que forma o organismo. (00:02:16) Então,...porque a Genética é muito abstrata, trata de conceitos que estão dentro da categoria do não visível a olho nu. Está certo? Então, eu acho que o aluno precisa, ele precisa realmente entender a coisa, o professor precisa usar de recursos e fazer ligações e conexões que permita que o aluno tenha aquilo de uma maneira que faça um sentido, porque é muito fácil eu fazer uma segregação 3:1 só usando número. O aluno faz! Agora se aquilo lá tem algum nível de compreensão para ele, isso eu não sei, eu acho que não, se ele não entender a teoria cromossômica da herança.

(00:03:05) E: Certo, então assim, pelo que eu entendi a senhora falou que é importante que ele saiba como é que ocorre a divisão celular, como ocorre a segregação dos cromossomos...

(00:02:16) DB2: Meiótica, né? A meiose.

(00:02:22) E: É a meiose... para compreender as leis de Mendel, né?

(00:02:25) DB2: É. Mas não aquela divisão celular, não aquela meiose cheia de nomes né, leptóteno, zigóteno, paquíteno, diacinese, tal. Enfim, o aluno acaba decorando uma porção de nomes preocupados em cada uma das fases, né, ele fica perdido nessa descrição e na maioria das vezes não existe a correlação o significado da meiose propriamente dita, né? Quer dizer, é vincular leis de segregação com constituição do organismo... Se ele entendeu isso, pronto.

(00:04:20) E: Então, na opinião da senhora não teriam esses nomes ou esses nomes podem estar presentes mas não ser a ênfase do ensino.

(00:04:34) DB2: Não ser a ênfase do ensino. Porque geralmente o que...

(00:04:36) E: Podem até, desculpa, podem até estar presentes mas não é o objetivo, né?

(00:04:42) DB2: Não é o objetivo, se o ensino for de Genética é até salutar que eles não estejam presentes, esses nomes. E sim o que ocorre, quando que os homólogos se separam, quando que os genes maternos e paternos vão para uma célula e para outra, em termos de significado que a meiose I e II possuem.

(00:05:14) E: E qual seria a importância na formação dele, dele saber, no caso, as leis de Mendel. Qual seria a importância para ele se tornar um cidadão crítico dele saber essas leis.

(00:05:26) DB2: Tá. Então, antes de mais nada, eu queria dizer o seguinte: para ele entender as leis de Mendel o ideal seria que ele tivesse primeiro noções de célula, que é a unidade de vida que vai formar os organismos celulares e dele próprio ao longo...está certo? Ah...da composição desses cromossomos, da localização do material hereditário, de mais ou menos

como é que esse material hereditário funciona, para que ao entender depois como é que no organismo materno e no organismo paterno esse material vai ser separado, vai ser distribuído e depois juntado para fazer um outro organismo. Então, ele vai estar entendendo, o aluno, quando ele entender isso, eu acho que ele vai estar entendendo um pouco de como funciona o próprio organismo dele. Está certo? Como é que a espécie humana tem as suas informações e passa essas informações de uma geração para a próxima. Se ele não souber isso, não adianta ele ler sobre seja lá o que for da modernidade aí da Genética sobre células-tronco, sobre terapia, sobre terapia gênica, ou seja, o conceito de gene precisa estar muito claro também na cabeça dele... O que é o gene, aonde está o gene, qual é a função do gene...para que que ele serve. Né? Agora na hora que ele souber isso aí ele vai entender se eu pegar um gene de um organismo e transferir este gene para um outro organismo o que isso significa e que implicação isso pode ter, né? Ou seja, se eu disser para o aluno, “Ah, eu pego um gene de uma espécie e ponho em outra espécie para fazer um transgênico” e ele não sabe o que é gene fica tudo...né?...fica incompreensível. E se incompreensível, ele não vai poder julgar se ele acha aquele procedimento correto ou não correto, ou as implicações que aquele procedimento possa vir a ter, né?

(00:08:10) E: E as leis de Mendel ajudaria ele compreender isso também?

(00:08:14) DB2: A compreender como é que, na verdade é assim, nós estamos falando aí de duas coisas. Nós estamos falando das leis de segregação de uma geração para a seguinte e nós estamos falando de como o material hereditário está lá dentro do organismo, qual o papel dele como ele funciona e que importância isso tem. Quando você vai saber a lei de Mendel, você vai saber a contribuição materna, a contribuição paterna, como que elas se misturam, essas contribuições para originar um indivíduo. Isso vale para planta, para animal, para ser humano, para qualquer coisa. Então, quando eu digo, vamos voltar ao exemplo dos transgênicos, eu vou dar uma tecnologia nova que é a da construção do transgênico, propriamente dito, agora eu tenho que entender o que é essa construção, como é que eu faço essa construção, como é que eu pego um gene de um local e passo para o outro. (00:09:28) E, depois, eu tenho que entender as consequências disto. Para eu entender as consequências disto, por exemplo, eu transmiti um fator de resistência para uma determinada planta, essa planta vai se dividir, vai se reproduzir na natureza, então ela vai então ser portadora desse novo fator que ela recebeu e precisa entender como isso pode ocorrer, para isso ele precisa saber as leis de Mendel. (00:10:01) Eu nem acho que o aluno do Ensino Médio precisa saber essas modernidades aí

de... é... Você me perguntou o básico, tá. Aí o básico tem limites. Eu acho assim, o básico para Ensino Médio é isso é ele entender a localização, o funcionamento e a segregação do material hereditário. Tá? Se ele entender isso ele já tem condições de ouvir algo novo e de tentar fazer alguma correlação a mais na cabeça. Não significa necessariamente que todas essas coisas novas precisam ser dadas no Ensino Médio. Eu acho que o aluno ainda não tem maturidade para entender isso na sua plenitude. E aí tem um outro problema, tudo que ele escuta, de uma maneira rápida, de uma maneira não compreensível, de uma maneira, assim, vamos dizer burocrática, porque vai cair no vestibular, por exemplo, ele acha de alguma maneira que sabe. Ele fica até meio resistente a aprender isso de uma maneira mais profunda e mais correta. Eu vejo isso pelos próprios alunos de Biologia que chegam aqui. Já ouviram falar em tudo. Então, conseqüentemente eles sabem tudo...

(00:11:38) E: É como se tivesse um bloqueio...

(00: 11:39) DB2: É como se tivesse um bloqueio por já ter ouvido. Então, isso me basta. Então, uma coisa é você, eu acho que tem aí um limite tênue entre, ah não isso aqui é importante o aluno já ter ouvido falar, até que ponto isso é benéfico ou não para o aprendizado dele. Eu acho que, na minha opinião, o Ensino Médio deveria se preocupar em deixar essa base muito bem fundamentada em qualquer aluno. Certo? E aí depois dar, sei lá, algumas outras ferramentas um pouco mais... (00:12:25) Se for uma dessas escolas que tem, sei lá, um enfoque, um enfoque... escolas particulares que tem tempo maior dentro de sala de aula, que o aluno tem que fazer trabalhos fora, enfim que o professor vai atrás do aluno para ver se ele fez ou não, coisa um pouco difícil de acontecer na escola pública, ainda ele poderia trabalhar um pouco a base que vem antes disso: enzimas de restrição, que o DNA pode ser digerido, que depois ele pode ser ligado com outro pedaço, o que interessa no DNA é a sequência, a sequência é que vai determinar como que ele funciona. Enfim, de novo aí, nós estamos no básico, né, quer dizer, qual é o limite quando eu digo para você o que é gene, se o professor explicar muito bem para o aluno o que é gene, ou seja, se o aluno compreender muito bem o que é gene, ele vai saber que se eu cortar um pedacinho do gene tal, um pedaço do gene, e juntar com outro pedaço do gene, aquele pedaço pode funcionar. Eu estou no básico. Eu nem preciso estar falando de organismo transgênico. Está certo? Então, é meio tênue dizer o que é básico e o que deixa de ser básico.

(...)

(00:13:56) Pelo que eu entendi na sua opinião seria importante sedimentar alguns conceitos básicos de Genética Clássica, ele entender o que é o material genético, onde ele está, como funciona, como é a segregação, como funciona as leis de (Mendel

(00:14:13) DB2: [Isso]).

(00:14:14) E: e ter isso bem sedimentado para que a partir disso futuramente, ele consiga quando ele vê na mídia, as ... notícias e ele consiga compreender.

(00:14:29) DB2: É. Eu acho assim, tá?

(00:14:31) E: Tá.

(00:14:32) DB2: Eu acho assim. E isso, a gente até eu trabalho, tenho a oportunidade de trabalhar assim com professores de Ensino Médio que vem fazer curso de atualização aqui e a gente percebe que esses conceitos nos professores não estão sedimentados. Esta base que eu estou falando para você que é importante. Então, realmente eles ficam meio perdidos quando eles leem notícias da mídia, porque estão partindo do que para ler aquela notícia, né? É uma coisa complicada. Então, eu acho assim, também não acho uma coisa interessante para o aluno ouvir muito, sobre muitas coisas sem trabalhar um pouco para ver se realmente ele conseguiu fazer gancho daquilo que ele está ouvindo com alguma coisa básica que ele já tinha, que ele já tinha aprendido.

(00:15:30) E: Então, se for inserir novos temas da atualidade é importante sempre fazer um link com o básico.

(00:14:34) DB2: Fazer um link com o básico. Por que se não fica uma coisa solta, né, na rede cognitiva dele. Vai acabar entrando por um ouvido e saindo pelo outro. Uma semana depois, ele nem lembra mais que ouviu aquilo. Então, seria mais ou menos isso. Eu vejo a coisa assim, às vezes existe uma abordagem do tema uma abordagem muito rápida, muito sem gancho, eu estou utilizando a palavra gancho, para conexão com aquele tronco básico e aí fica perdido. Aí fica uma coleção de nomes, entendeu? Enzima de restrição. Nossa! O que é isso?

(00:16:24) E: Certo. Eu agradeço muito, eu acho que era basicamente isso que eu precisava saber mesmo. Não sei se a senhora tem mais algum comentário para fazer, ou alguma coisa...

(00:16:38) DB2: Não. Eu vi que você vai analisar livros de Ensino Médio.

(00:14:41) E: Isso. E eu até busquei assim... é:: ... primeiro essa curiosidade nossa partiu de pensar o que a gente ia analisar dentro dos livros né? Será que vai dar para analisar tudo? Vamos ver o que é mais importante para analisar. Mas assim, o que seria mais importante? Né? O que é básico que o aluno aprenda no Ensino Médio? E daí que partiu a questão e aí eu

transformei como um dos objetivos da minha tese também seria responder essa pergunta, né? E aí a partir disso vamos ver o que que...

(00:17:17) DB2: É. Eu vejo assim. Talvez alguns livros básicos tentam colocar o moderno, moderno aí entre aspas, porque alguns vestibulares solicitam esse tipo de informação e eu também tenho um retorno dos professores de Ensino Médio, principalmente de escolas públicas, eu não estou falando de escolas particulares, em que usam o livro do aluno como fonte de estudo, quer dizer, eles não buscam uma informação num trabalho original e na maioria dos livros, um pouquinho mais avançados, são textos em Inglês que dificulta, né, a atuação do professor, a compreensão do professor, o acesso do professor a esses textos.

(00:18:17) Então, o que ocorre na maioria das vezes é que o professor acaba usando um texto bastante limitado, bastante resumido, bastante, ali, bem pontual, né? E ele usa isso para se esclarecer, compreender e fazer o aluno ter o mesmo conteúdo e compreender aquele mesmo conteúdo. Isso eu acho complicado, né? Quer dizer, porque o professor fica aí sem um parâmetro de separar o joio do trigo na verdade, né? O que é importante aqui para eu dar? Eu acho que o professor tem isso na cabeça sempre. Ele não sabe julgar, “Olha eu tenho um conteúdo extenso no livro básico...” e agora eu tenho aqui, tem dois tipos de professores: aquele que pega, começa na primeira aula na primeira página do livro e dá até a última página correndo porque tem um tempo X para dar aquele conteúdo e aí tem aquele outro professor que escolhe: “Olha eu, dentro desse conteúdo, eu vou escolher alguma coisa porque eu não vou ter tempo de desenvolver adequadamente tudo”. Esse aí tem uma visão um pouco mais esperta, mas eu fico... eu acho que a primeira alternativa é a mais comum, que é aquela de tentar transmitir para o aluno todo aquele conteúdo que está no livro básico. Não sei se é bom os livros básicos terem...

(00:19:55) E: Tantos conteúdos.

(00:19:56) DB2: Tantos conteúdos, abordados de uma maneira extremamente reduzida, né, resumida e desvinculada do básico, sem um comentário ético depois. Vai usar células-tronco. Bom, primeiro eu preciso entender o que é célula-tronco. Tá certo? Eu vou fazer terapia celular, primeiro eu preciso entender o que é terapia celular, para depois eu entrar no problema ético que possa vir como consequência daquele emprego. Eu acho que isso...é...você passar por todos esses passos para que ele tenha significado requer um tempo que eu acho que não existe. Porque são duas aulas por semana, só. Daí eu achar que o básico é simplesmente o básico ((risos)). Aquele mais clássico, está certo?

(00:20:59) E: Ok. Muito obrigada.

Complemento requisitado e recebido por *e-mail*:

Seguem respostas da entrevistada à entrevistadora referentes aos comentários enviados em e-mail anterior. Os comentários referidos na mensagem foram inseridos na cópia da transcrição enviada à docente e inseridos respectivamente nos trechos (00:05:26) e (00:12:25):

(...)

Resposta ao seu comentário 1: Aqui se inclui a Genética Molecular? A resposta é SIM. Pois, para compreender o material hereditário é necessário que saiba a estrutura da moléculas de DNA e suas propriedades fundamentais, ou seja, (a) a duplicação na qual a molécula antiga serve de molde para a síntese de uma nova, a (b) a transcrição, ou seja, a cópia das informações codificadas na molécula de DNA e o envio da mensagem para o citoplasma (o processo de tradução pode ser dado em continuação). O aluno precisa também associar a duplicação do DNA com o processo de divisão celular. Também precisa compreender a composição do cromossomo, ou seja, cada cromossomo é formado por uma única molécula de DNA. Também é básica a compreensão de que os genes estão no DNA e qual o significado deles. Além disso, é importante relacionar os genes com a segregação cromossômica na meiose.

Resposta ao comentário 2: Ou o molecular entra nesse segundo plano? Enzimas de restrição, clonagem molecular, ficam num segundo plano. Com isso quero dizer que a metodologia do DNA recombinante deverá ser ministrada se houver tempo e se o professor sentir que o básico já está muito bem compreendido.

**DB3**

E: Então, um dos objetivos da minha pesquisa seria explicar o que seria básico para os alunos de Ensino Médio aprender. O que seria básico ao final do Ensino Médio eles terem de conhecimento para eles se tornarem cidadãos críticos, né? Numa sociedade. Por que hoje em dia, os conteúdos de Genética, quando eu falo de Genética eu incluo tanto a Genética Clássica, quanto à Nova Genética, com os conteúdos de Biologia Molecular, Biotecnologia, então, hoje em dia, esses conhecimentos estão se expandindo cada vez mais. E o livro didático e os professores também, os programas curriculares acabam pedindo novos conteúdos, mas o que seria básico mesmo para que ele tornar-se um cidadão crítico, para que, de repente, esse básico fosse contemplado realmente, numa situação em que os professores tivessem vários conteúdos e ele tivesse que optar por alguns devido à restrição do tempo?

(00:02:52) DB3: É na realidade eu tenho pouca experiência em relação aos currículos do Ensino Médio. Há muitos anos atrás, eu dei aula no Ensino Médio, mas foi há muitos anos realmente. Então, para mim é um pouco difícil dizer o que é importante o aluno do Ensino Médio sair sabendo sobre , porque de fato minha experiência não é com Ensino Médio. Mas, talvez tivesse mais...abordasse mais o ponto de vista... bom tudo o que eu dizer vai ter um pouco de viés, nesse sentido, por falta de experiência no Ensino Médio. E a única experiência que eu tenho com relação a conteúdos de Ensino Médio é o que tem caído em vestibular, que é um viés absolutamente horrível. Na verdade, você vê o que vai se ensinar no Ensino Médio, em função do que se pede no vestibular.

(00:03:45) E: Eu não sei se ajudaria a senhora, mas a minha pergunta, é mais assim no sentido... assim: eu estou entrevistando tanto docentes aqui da universidade, como professores de Ensino Médio. Eles pela proximidade que eles estão com os alunos, e vocês pela proximidade que vocês estão com...

(00:04:05) DB3: Os alunos da graduação.

(00:04:07) E: É não seria nem tanto com o aluno que está na graduação, mas com o conhecimento que está sendo produzido, e assim, para o aluno enfrentar a sociedade compreender o que está acontecendo, ser um cidadão crítico, então vocês conhecendo esses conteúdos seriam também capazes de dar a opinião de vocês sobre o que uma pessoa que se formou, quer dizer, possivelmente ela não vai passar por nenhum outro estágio de formação,

se ela for para uma universidade, talvez ela resolva fazer um curso totalmente diferente de Biologia, então para ela ter uma formação básica para atuar na sociedade.

(00:04:45) DB3: Então, isso eu estava acabando de comentar com a ((fala o nome de uma pessoa)) que estava aqui comigo agora, se tornou muito difícil para nós em determinado momento, nós que eu digo, nós que ensinamos Genética, porque houve uma explosão de informação a partir de 70, 80 para cá, né? Então, tanto em Genética, como em Genética Molecular uma grande explosão de informação de fácil acesso, né? Então, tanto na mídia popular como na especializada se tornou praticamente impossível você abordar os temas atuais, porque é uma quantidade muito grande. Então, nesse momento a Genética ((provavelmente se refere aos docentes responsáveis pela disciplina Genética)) optou por, o que vamos fazer, vamos continuar tentando dar conteúdo, informação atualizada, ou vamos dar o básico? O que significava o básico nesse momento? Significava ele ter muito firme, muito claro para ele, o que é Genética, o que é hereditário, o que é genótipo, o que é fenótipo, né? E com esse conteúdo básico ele seria capaz de entender essas várias informações genéticas de mídias diversas e interpretar... porque já era impossível você falar sobre todas as informações genéticas neste momento. (00:06:22) Então, neste momento, eu acho que é como está o curso de Genética no momento. O curso de Genética ele se concentra nesses conceitos básicos e se concentra na metodologia científica. Então, é através dos conceitos básicos de Genética, a gente tenta transmitir o que é fazer Ciência, o que é ter uma pergunta e tentar respondê-la. Então, para nós isso era a essência, é a essência, né? Então, nesse sentido, a gente usa a Genética como meio para transmitir ao aluno como você vai buscar uma resposta. Pela metodologia científica, no caso na área de Genética. Então, para isso a gente tem que dar conceitos bem sólidos, básicos, que consideramos básicos, o que é o genótipo, o que é o fenótipo, então nisso então você vai ter: nem tudo o que é genético é hereditário. Enfim, o que isso exatamente significa, ou seja, você tem uma interação entre o genótipo e o ambiente que vai dar um fenótipo tal. (00:07:46) E caso a mutação não seja uma mutação, uma coisa que esteja na linhagem germinativa, quando o indivíduo se reproduz, ele não será hereditário. Então, isso é fundamental. Então, precisa falar, bom o que isso tem a ver com célula-tronco, por exemplo, bom se nós estamos falando que não é transmitido, será que uma célula tronco que você recebe de um outro indivíduo é transmitida. Então, no fundo, quer dizer, você vai resgatar isso se ele tiver solidamente informado sobre o assunto de Genética né? E, então é fundamental que ele saiba essa interação: genético – hereditário – fenótipo – genótipo. E,

além, disso a gente tem também, dissecar os conceitos fundamentais que a gente sabe, que acho, considera que existe sobre transmissão dessas características ao longo das gerações. Né? (00:08:52) O que quer dizer isso? Por mais incrível que pareça... Mendel descreveu as leis mendelianas, nós é que chamamos de leis mendelianas, no caso ele nem sabia que ia se transformar em lei, mas, enfim, em 1850 e pouco e, no entanto, elas são válidas até hoje, né?, por mais incrível que pareça. Então, o que a gente explicita para ele como são essas regras da transmissão da característica ao longo das gerações. Ou seja, a segregação e a segregação independente, né? Seja lá uma característica complexa, ou seja, uma característica que tem interação gênica, no fim das contas tudo se baseia no fato dos alelos do mesmo gene se separarem ou não. Então, os alelos de genes diferentes se segregarem ou não. Então, de ter mais dois, mais três, mais quatro, mais cinco. Isso não importa desde que você saiba que tudo está seguindo essa regra. (00:10:00) Então, isso é outra coisa eu a gente faz questão de ensinar: “De novo”. “De novo - o aluno pensa. “De novo lei de Mendel! Já aprendi isso no Ensino Médio, de novo aqui na graduação!” Mas como você resalta outro aspecto dessas leis e faz uma generalização disso, então o procedimento é diferente, né? E como ele tinha uma questão, como ele foi testar através da ervilha. Então, é o que eu sempre falo: “A visão que você tem de Mendel vai mudar. Nunca mais você vai pensar em Mendel como você pensava no Ensino Médio”. Então, é uma ideia de que você está dando a fundamentação do raciocínio, da busca da explicação daquela proporção 3:1. Então, essa busca, esse caminho não interessa muito se é Mendel, se não é Mendel. Toda vez que ele se depara com uma questão nova, é essa busca que ele tem que fazer. (00:11:17) Então, é preparando nesse sentido. Então, quando fala assim na mídia popular: “Ah! o câncer é uma doença genética”. O que significa isso? Ele tem condições de responder isso. Ela não precisa decorar que ela é genética por causa disso, disso ou daquilo. Né? Então, eu acho que é essa a coisa que a gente considera importante, né? Eh, então a gente ensina, dissecar muito bem o que é essa proporção 3:1, porque que é 3:1, porque que é 9:3:3:1, tá? E o que acontece se houver interação, são casos especiais de novo de 9:3:3:1. Então, daí para frente a gente responde isso para qualquer outra situação genética, né? Não interessa se é molecular ou não porque o fenótipo é o resultado da manifestação molecular daquele gene. Então, é isso que a gente dá ênfase nesta distinção. O que é gene, o que é alelo obviamente, se você está falando de indivíduos diploides você tem que dar essa distinção do que é gene e do que são os alelos. Um indivíduo diploide sempre vai ter no máximo dois alelos de cada gene. Ele vai obviamente entender, porque ele sabe de onde

vem, um de origem paterna, outro materna, tudo isso é dado ênfase no curso. E eu acho que é isso que a gente considera fundamental.

(00:13:35) E: Certo. A senhora me falou o que vocês consideraram fundamental aqui para o curso de Biologia, para os alunos de Biologia, e essa parte também se estenderia ao que a senhora considera importante para os alunos que estão saindo do Ensino Médio. Seria isso?

(00:13:20) DB3: Eu acho que sim. Se eles viessem com isso bem amarrado, eu acho que a gente podia partir para uma outra etapa aqui na graduação. Mas como eles veem com esses conceitos absolutamente dispersos, perdidos dentre de um contexto de informação genética acaba você continuando a ressaltar importância desse conceito, você entende? De um outro ponto de vista, uma outra abordagem. Mas, de fato eu considero que isso é fundamental se eles saíssem com isso bem feito do Ensino Médio seria perfeito para nós.

(00:13:58) E: Então, seria mais, o que é o gene, o que são os alelos, o que é o genótipo,

(00:14:03) E e DB3: o fenótipo

(00:14:04) DB3: E a primeira e a segunda lei. Meiose obviamente se você está falando de primeira lei, segunda lei, você vai amarrar com a meiose.

(00:14:13) E: Ok. E também a diferenciação entre o que é genético e o que é hereditário.

((A docente balança a cabeça afirmando))

(00:14:26) E: E questões moleculares, a senhora acha que são secundárias para o Ensino Médio, ou isso também é prioridade? Por exemplo, entender qual é a estrutura do DNA, como que funciona o código genético, essas coisas.

(00:14:44) DB3: Pois é, eu acho assim, na verdade eu considero que da maneira como está sendo dado no curso do Ensino Médio, esses conceitos todos, era melhor que não desse. Porque ele está sendo dado sem o conceito correto, então acaba soltando um monte de palavras, como se fosse um glossário na cabeça de um indivíduo, isso não faz muito sentido, né? Então, ah, por exemplo, DNA, bom, será que algum dia na vida alguém falou que aquele DNA é o próprio gene? Nós estamos falando de Genética, estamos falando de gene e não estamos falando de DNA. Então, ele chega aqui achando que DNA é DNA, gene é gene. Não. Gene é aquele DNA. Então, é preferível que não desse... (...) (00:16:00) DB3: Então, uma coisa está numa gavetinha e outra coisa está em outra gavetinha. Então, eu acho assim, por isso que eu falo para você, é preferível que não falasse sobre isso porque pelo menos não vinha com esse viés de conceito, né? Então, esse é um problema, sério, para nós. E também será que o indivíduo realmente, se você perguntar lá fora, o que é um transgênico, se ele não

souber isso tudo de molecular será que ele vai saber o que é transgênico? Certo? Basta que ele saiba desmembrar uma palavra trans-gênico. Pronto, acabou, se ele sabe o que é gênico ele sabe o que é transgênico. Não precisa ficaaar: “transgênico: a técnica faz isso, o DNA enfia cá, não é? Então, eu acho assim: é muito difícil você escolher no mundo de hoje, de acesso à informação, de fato você ficar nas coisas básicas. Porque há uma riqueza tão grande envolta de você de acesso fácil que é difícil você escolher ficar só com o básico. Mas eu vejo que o básico é realmente o mais importante. Mesmo isso que se fala: “Bom, vou perguntar para eles se é ético, se não é ético, fazer uma terapia gênica nas células germinativas”. Será que ele vai precisar saber tudo como é uma terapia gênica, ou ele vai entender o necessário, para poder julgar isso, né? Você está me perguntando como criar um cidadão ético, crítico, né? Será que precisa realmente? Hoje a moda é célula-tronco , ontem era fazer transgênico, se você for perseguir isso dessa forma, você nunca vai estar em dia com a coisa né?

(00:18:00) E: Então, o básico seria uma ferramenta para ele entender...

(00:18:03) DB3: Para ele entender...

(00:18:05) E: ... um tema novo...

(00:18:06) DB3: Isso.

(00:18:06) E: ...que se apareça por aí.

(00:18:07) DB3: Isso. É isso o que eu penso, né? Sabe. Então, quando surgiu a terapia gênica, era saber: “Olha, eu enfio um gene lá consertado, e aí conserta. Será que é isso? Agora, célula-tronco . O que é célula-tronco , né? Porque está sendo tão debatido? Será que não tem condições de saber isso sem ser dentro de sala de aula? Se ele tiver uma base sólida, ele tem condições sim de entender o que fez, do que se trata. Não acho que o curso do Ensino Médio deva ser, ou pretenda ser, ou tenha que ser um dia, um dicionário. Eu acho que ele tem que ser sim uma base sólida de conceitos básicos de Genética que, embora tenha mais de 100 anos, são eles que são válidos ainda.

(...)

(00:24:42) E: Bom era basicamente isso o que eu precisava saber, mesmo. Não sei se a senhora quer acrescentar mais algo?

(00:24:54) DB3: Não, na verdade eu mesma já me, só para acrescentar para fechar um coisa, eu mesma já me questionei váriàs vezes se a gente devia dar um curso optativo, chamado “Fronteiras da Genética”, nessa ânsia de você querer cobrir essas questões que aparecem na mídia, explicar para a população em geral, o que significa você falar em xampu de DNA, qual

o absurdo contido nisso? ((risos)). Então, eu mesma já pensei nisso, já até escrevi a ementa dessa tal disciplina fictícia que eu imagino que deveria existir para complementar a Genética que a gente dá. E depois, como aquilo foi ficando sem eu propor, cada vez que eu pegava eu via que tinha que falar mais coisas. ((risos)) Aí eu cheguei a conclusão que...

(00:26:04) E: ((risos)) daqui a pouco tem a versão II do curso, III, a IV.

(00:26:06) DB3: ((risos)) Fronteira I, Fronteira II, Fronteira III ((risos))

(00:26:10) E: ((risos)) o aluno vai ter que ficar 7 anos aqui só fazendo Fronteiras...

(00:26:12) DB3: Só fazendo Fronteiras. Quando eu comecei a pensar nas Fronteiras, nem existia esse bum, aí, de células-tronco. Então, na minha Fronteira já estava faltando esse tema também. ((risos)). Então, eu acho que é difícil, você dizer de fato que precisa ter numa Genética de uma maneira geral. E eu continuo achando mesmo que tem que ter a básica, mesmo um dia tendo pensado nessa optativa. ((risos))

(...)

#### **DB4**

(00:00:00) DB4: Então, Fernanda, a primeira coisa que eu gostei na sua pesquisa e que eu gostaria de mencionar, que eu considero importante, é isso de você estar recolhendo informes seja do lado de cá, de quem está produzindo conhecimento em Genética, no Instituto de Biociências, quanto do lado de lá, do professor que está em sala de aula ministrando Genética para a garotada. Porque, em geral, uma coisa que eu acho que falta para pesquisadores inclusive desenvolverem seus mestrados, doutorados, o pessoal da Educação, é realmente é um diagnóstico do que os professores estão fazendo, em primeiro lugar, o que eles realmente fazem, na hora que fecham a porta da sala de aula, né? E se tem alguém que tem que ser ouvido para a reformulação desse currículo, para pensar que conteúdos são esses, sem dúvida nenhuma é esse professor em sala de aula. (00:01:02) Então, eu acho bacana que a tua pesquisa esteja trabalhando com os dois profissionais. Eu acho importante isto. Bem dito isto, o que eu preciso trabalhar em termos de conteúdo. Bem eu estou aqui no Instituto de Biociências, não sou uma pesquisadora da área de Genética, eu sou uma ex-professora de Biologia do Ensino Médio, que fez mestrado, doutorado e pós-doutorado em história da

Biologia e estou aqui agora ocupando um cargo, uma vaga destinada a pensar, a trabalhar com ensino de Biologia junto à licenciatura. Portanto, pretendo utilizar a bagagem enquanto docente de Ensino Médio que fui, quanto minha bagagem de pesquisadora de História da Ciência para pensar modalidades de ensino de Biologia para o Ensino Médio e o Ensino Fundamental e vou me ocupar aqui com a formação de futuros professores, né?, os biólogos que estão aqui que optaram pela licenciatura, vão fazer, pelo menos, três disciplinas comigo que são bastante voltadas para o ensino, que é Ensino de Biologia, uma disciplina mais introdutória, mais geral, mais para despertar e motivar nesse ingressante do curso de Biologia, o interesse pelo desenvolvimento de uma barreira na docência e o norte que eu vou utilizar, para esse aluno, é mostrar para ele que a docência também é casada com a pesquisa, ela pode ser casada com pesquisa, e a área de pesquisa de ensino de Ciências que se desenvolveu aí nas últimas décadas é uma prova disso, então ele não precisa partir para a docência como última alternativa de vida ou de mercado de trabalho, mas como opção consciente, dada desde o início, uma vez que ele consiga vislumbrar nessa opção também a possibilidade de desenvolver pesquisas. Então, esse é um desejo que eu tenho, vou procurar desenvolver aqui nessa disciplina de ensino de Bio. E vou trabalhar também com Ensino de Biologia Molecular e Ensino de Genética. Portanto, nesses momentos eu vou sim ter que privilegiar com esses estudantes de Biologia, privilegiar com eles as discussões em torno do que é fundamental que o aluno de Ensino Médio, ou Ensino Fundamental aprenda sobre esses conteúdos. Como eu estou chegando eu tenho apenas ideias gerais, né? As duas disciplinas, eu vou desenvolver, uma para ministrar em 2009 e a outra em 2010, então eu estou ainda muito em início de projeto. Mas eu tenho algumas ideias, inclusive algumas delas que eu pude, digamos assim, verificar junto aos colegas com os quais eu vou trabalhar em algumas dessas disciplinas. E que são os pesquisadores daqui. São os cientistas que estão fazendo o seu trabalho em Biologia Molecular ou em Genética. Então, nos meus encontros com eles eu tenho visto que tem algumas coisas que são eu não digo de senso comum, mas eu digo que são já de consenso e que dizem respeito a conteúdos. (00:04:41) Então, a primeira e fundamental questão, o norte que eu penso que tem que estar guiando uma reflexão sobre o que trabalhar no Ensino Médio é a questão de vincular os conteúdos com a vida cotidiana e com a prática que os alunos possuem, porque a gente sabe que eles ficam muito pouco motivados por um ensino de conceitos, de conteúdos que não tem relação com, que eles não conseguem visualizar em relação com sua vida prática. Então, eu acho que isso é muito banal, mas é fundamental, e é o

que não acontece nos livros didáticos de Biologia. Quando a gente pega o livro didático de Biologia ou sabe da realidade do ensino de Genética que o professor passa dois, três bimestres só fazendo probleminhas com as leis de Mendel, por mais importante que elas sejam, não estou dizendo que a gente vai eliminar as leis de Mendel do currículo, mas como a gente sabe que eles passam dois, três meses ensinando estatística e fazendo probleminhas com as leis de Mendel, a gente sabe que isso não vai muito longe, nem desperta nesse estudante a vontade de ser pesquisador, de fazer um curso de Biologia quando ele sair do Ensino Médio. Então, está errado em vários sentidos, o que falta nesse programa? Falta trazer os conteúdos da Genética que dizem respeito à vida cotidiana que estão aí. (06:20:00) Então, em vez de falar, de mendelismo, codominância, ficar fazendo probleminhas por dois três bimestres, eu entendo que, primeiro, tem que se dar um foco maior em Citogenética e Genética Molecular, no sentido de conectar aqueles conteúdos da Citologia que em geral ele aprende lá no primeiro colegial, muitas escolas trabalham com Ecologia, tem Citologia no primeiro ano e vão trabalhar com Genética no terceiro. Então, quando ele começa a aula de Genética lá no terceiro, ele não sabe, não tem mais conectado aquele conteúdo que ele aprendeu lá, de divisão celular, e conteúdo em relação à distribuição cromossômica. Eu acho que um primeiro aspecto importante é esse, fazer uma conexão com Citogenética para que eles consigam associar o que ele vai aprender de mais abstrato, no que diz respeito a cromossomos e genes, associar isso pelo menos àqueles modelos de divisão celular e tentar conseguir visualizar isso no organismo dos seres vivos. (00:07:39) Então, é importante retomar essa conexão. A partir do estudo de código, aí você abre para trabalhar Projeto Genoma, a importância ou não, (crítica), enfim o que significa fazer genoma de espécies, o que significa o código degenerado, e as implicações que isso tem para a seleção natural, por exemplo. Uma outra frente aí, deveria se abrir em relação, que eu acho, digamos a dois temas, que tem muita relação com o cotidiano e com o que está presente aí na vida atual, vida moderna, que é trabalhar as questões das doenças genéticas, que isso também abre a partir delas, seja para dar andamento, seja para discutir transgênicos e a terceira frente de melhoramento genético onde você pode trabalhar com híbrido, onde você (começar) é... todos alimentos que estão disponíveis hoje, no mercado, onde eles podem conhecer o modo pelo qual você produz uma melancia sem caroço, coisas desse tipo. (00:09:14) Ou seja, eu acho que a grade curricular tem sim que estar centrada nessa questão da aplicação e com a conexão direta com a vida diária que implica em alimento, medicação e tratamento de doença e naturalmente tudo isso precedido de uma base

que aproxime, que retome, que religue, conteúdos de divisão celular aprofundando para Genética Molecular. E aí sim, trabalhar obviamente, digamos, os itens de sempre, como padrões de herança, base cromossômica de herança, mapeamento, recombinação, mas que isso especialmente não se transforme nessa coisa de ficar fazendo probleminha e heredrograma, né? Parece que aprender Genética é aprender fazer bolinhas ligadas a quadradinhos, colocar isso em mapa e fazer contas, né? E usar a estatística.

(00:10:22) E: Então, ele teria, por exemplo, ele conheceria as leis de Mendel, mas assim, como uma base inicial, não para ele ficar fazendo problemas, e sim como uma base para que ele possa compreender como funciona a hereditariedade, seria isso?

(00:10:40) DB4: Isso, é isso mesmo. Ou seja, é um elemento né, claro que é importante conhecer, mas é um elemento. Base cromossômica...é...desculpa...é...como é que a gente chama isso? É isso mesmo. A base cromossômica da herança ela só pode ser estudada depois que você conhece os padrões de herança. Você tem que passar daí para os padrões mendelianos, mas isso tem que seguir adiante, né? O que eu estou querendo pontuar é o que eu conheço de sala de aula, o que eu conheço de material didático ou de apostilas que a gente vê por aí utilizadas no Ensino Médio, o programa não avança da herança autossômica quando consegue chegar em cromossomos sexuais, né?, ligados ao sexo. Então, a gente está trabalhando só leis de Mendel. E não pode, a Genética é muito mais do que isto. É, então, se dá para pensar em módulos, em blocos tem que ter um bloco transgênicos, tem que ter um bloco célula-tronco, tem que ter o bloco doenças, câncer, talvez, e um bloco melhoramento genético para alimento, que eu acho que é bem prático bem fácil do professor trabalhar, tratar exemplos, né? de produtos usados na alimentação que dá para começar a puxar para a constituição deles e com isso explorar os conteúdos de Genética... (00:12:30) O que mais? E a outra coisa, na verdade eu já falei, mas eu gostaria de reforçar é que qualquer planejamento curricular tem que passar por um diálogo com os professores, com os que estão efetivamente em sala de aula. A impressão que eu tenho é que eles vão dizer a mesma coisa, que lhes falta curso de atualização, às vezes falta material, às vezes falta eles mesmos estarem mais preparados, que tem muita coisa para fazer e não dá tempo de estudar, enfim, enfim, existe toda uma demanda que a gente sabe aí, uma carência de formação e de atualização do professor que é um outro problema a ser encarado. Agora, acho difícil que um professor de Ensino Médio não reconheça a importância de transformar o currículo em algo voltado para as questões cotidianas. Ele pode não se sentir capaz de fazer isso. De não ter condições, ou

encontrar condições de conseguir visualizar modos de efetivar isso, mas eu acredito que é esse o desejo e isso viria de lá. Então, isso só pode ser construído de fato no contato, no diálogo com os professores. Eu acho que isso é importante, são poucas as escolas que a gente vê que digamos assim, encaram uma rediscussão do programa. (00:13:59) Em geral, o programa vai sendo seguido como sempre foi dado. Por exemplo, a questão que o Nelio Bizzo defende, que eu acho que tem um ponto de vista histórico, né? Eu gosto dessa discussão dele de que em geral se estuda Genética e Evolução, nessa sequência, né?, e a questão é, bem historicamente não foi bem assim. Ou, melhor, houve lá, simultaneamente, simultaneidade não conectada entre Darwin e Mendel, mas a teoria evolutiva se consolidou digamos assim, antes. Então, porque que no ensino ela vem depois? Do ponto de vista histórico. Do ponto de vista teórico, conceitual, também seria interessante os alunos conhecerem seleção natural para então entender alguns dos processos que ocorrem, como a segregação de cromossomos. Então, é uma outra proposta muito interessante e que tem que ser pensada, tem que ser levada para o grupo de professores, né? Tomarem essas decisões. ((Outras, declarações, não ligadas ao foco da entrevista)).

(00:21:21) E: Uma questão. Você falou da importância de se falar do melhoramento genético, do tratamento das doenças e ao falar nisso, você acha que também seria básico entrar nas técnicas? Por exemplo, como isso ocorre. Você acha que seria básico entrar nessas técnicas?

(00:21:48) DB4: Bom isso, é o que eu falo, eu acho importante, agora esse é exatamente o lado que eu estou menos habilitada a te falar, por hora, né? Justamente, porque a área, é... eu fiz Biologia há muito tempo, a Genética é absolutamente outra do que a que eu estudei, então agora eu vou... Só que o conteúdo, a parte teórica a gente acompanha, então eu não me sinto assim tão desatualizada. Agora, exatamente na parte de técnica, eu estou desatualizada. Eu tenho que aprender ainda o que é isso. O que eu tenho discutido com os colegas aqui, no planejamento dessas disciplinas é que, claro que o professor do Ensino Médio, ele tem que conhecer algumas técnicas, ele tem que conhecer técnicas em geral que possibilitaram esse avanço do conhecimento genético, mas ele tem que, principalmente, ter acesso a estratégias, a técnicas e estratégias que ele possa reproduzir no ensino, seja no último ano lá do Ensino Fundamental, seja do Ensino Médio. (00:22:54) Ele tem que estar minimamente instrumentalizado para algumas dessas práticas, digamos assim. Então, é claro que existe uma parte técnica que ele tem que aprender, que faz parte do conhecimento necessário para entender como é que determinada teoria foi construída, mas, mais importante que isso é que

ele possa acessar técnicas que ele possa utilizar no laboratório do Ensino Médio. Desde o liquidificador para isolar DNA a outras que sejam adequadas para o nível de material, de instrumentação, de capacitação, que ele pode saber no laboratório de ensino de Genética. Né? Quer dizer, não vai reproduzir a pesquisa que está ocorrendo, aqui no laboratório, no instituto, mas algumas coisas ele pode ter lá. Então, que coisas são essas? É isso que eu quero ainda procurar consultar. Eu acho que é importante, sim.

(00:24:05) E: Essa é sua ideia, mas você não sabe dizer quais técnicas você...

(00:24:29) DB4: É eu não saberia lhe dizer quais são ainda né?

((Conversas que fogem do foco da pesquisa)).

(00:24:43) DB4: Assim como tem transposição para qualquer outro conteúdo, ou acho que tem que ter uma transposição para técnicas também, né, para você ter técnicas didáticas para utilizar no Ensino Médio. Não me pergunte mesmo quais, eu só sei falar do liquidificador e do DNA. ((risos)). Que eu lembro que eu fiz há muito tempo atrás, eu aprendi num curso de atualização aqui do instituto, inclusive, que eu vim com os professores com os quais eu trabalhava no Estado, e a gente aprendeu. Naquela época eles tiravam DNA de cebola, né? Não é que nem hoje que você usa coisas mais cheirosas, mais perfumadas, o pessoal usa frutas, né? Então, era cebola mesmo, e a gente aprendeu aqui e produzia no Ensino Médio e era uma coisa legal, os alunos curtiam e claro que entre ver aquele fiozinho branco na ponta daquele tubo de vidro, né, que a gente catava aquilo dentro do liquidificador, e imaginar que aquilo são fios cuja estrutura molecular é aquela da dupla-hélice, quer dizer, essa passagem já é bacana, quer dizer, ter um contato com uma Ciência tão abstrata quanto a Genética, né... é o momento que consegue associar um dos fenômenos com essa abstração. Então, é muito importante que aconteça.

(00:26:23) E: Eu acho que era mais ou menos isso o que eu precisava. A princípio seria isso, não sei se você quer acrescentar mais alguma coisa?

(00:26:41) DB4: Não eu acho que é isso só. Como eu já disse para você eu estou começando agora a pensar e preparar agora mais esse assunto, justamente o que eu estou preparando agora é mais para Biomol, Genética ficou para o outro ano, então eu pensei menos ainda, então infelizmente eu não tenho muito mais a dizer, mas são só essas ideias gerais mesmo, né? Por enquanto. E... então, é isso.

**DB5**

(00:02:10) DB5: Para não ficar muito repetitiva a coisa eu vou procurar dar mais ênfase à parte de Biologia Molecular por que muito provavelmente a parte de Genética, o que poderia falar para você, os professores de Genética vão repetir pra você particularmente em relação ao que é, ao que é, como você constrói o conhecimento e qual a importância de uma abordagem histórica para você construir conhecimento.

(00:02:38): Tá. Só para ficar mais claro um pouquinho não faz mal que repita, por que como eu vou ter que contrastar esses dados então para mim é importante saber o que a maioria dos professores pensam, por que existem divergências de opinião, entendeu? Então, seria ótimo que repita, não tem problema.

(00:03:03) DB5: Tá. Eu vou procurar falar menos da Genética e mais da Biologia Molecular. Quando você pensa na Genética, como é que funciona aqui no instituto: o pessoal tem a Genética e depois vai ter a Biologia Molecular como uma continuação praticamente. Como uma continuação no assunto. Quando a gente fala de material genético aqui a gente procura fazer uma abordagem de como é que o DNA foi descoberto como material genético, a gente não começa com a estrutura da dupla hélice e depois entra em outros conceitos de código genético ou coisa do tipo. A gente procura dar um histórico de como a pesquisa levou à descoberta do DNA como material genético. (00:04:02) Eu soube, inclusive de colegas nossos aqui, que alguns tiveram esse assunto no colégio, mas são raros, são poucos os colégios que entram nesse histórico da descoberta do DNA como material genético. Isso, em minha opinião, seria muito desejável que fosse feito ainda que em um nível mais básico, com menos detalhes do que a gente vê aqui. Existe uma série de experimentos históricos que levaram à conclusão de que o material genético não era proteína, que o material genético era o DNA, antes da elucidação da estrutura, feita pelo Watson e Crick em 53. (00:05:00) Então, pensando em Genética e pensando no material genético, seria muito interessante que ao invés de “socar” a história do DNA para eles: “O DNA é um material genético e ‘ponto’. Vamos já entrar na estrutura do material genético.” Não. Mostrar como é que se chegou a essa conclusão. Isso seria muito importante na minha opinião. Eu sempre gosto dessa parte histórica porque, na minha opinião, é a única maneira de você começar a entender melhor as coisas e até mostrar para os alunos que esse conhecimento você constrói à base de

experimentação e que ele não cai do céu, não vem do nada e que ademais ele está sujeito à mudanças no decorrer do tempo. Esse para mim seria um ponto importante e que dificilmente ele é abordado no colégio até o segundo grau. São raríssimos os casos, eu soube de uma docente aqui que teve isso. (00:06:15) Muito bem, no momento em que os alunos descobrem como é que o DNA foi descoberto como material genético... Então, tem toda a parte da estrutura do material genético que é dada no colégio, não só a estrutura, mas também a função: a parte do código genético, como é que a informação contida no DNA vai para o citoplasma para a construção das proteínas...isso é dado na realidade, isso tem sido dado e nessa parte mais operacional da história eu não vejo problema que os alunos entendam isso na escola. Agora, estrutura do DNA, a história da dupla hélice...ela tem uma história que é um pouco mais difícil você passar para os alunos por que ela envolve uma bioquímica mais pesada. Ai seria um pouquinho mais complicado de você entrar.

(00:07:39) O que vem sendo dado em termos de código genético, o conceito “código genético”, o que tem acontecido ultimamente é que com a proliferação de documentários – (00:08:00) hoje qualquer pessoa tem muito mais acesso a documentários científicos do que tinha antigamente, seja por canais pagos ou mesmo...o pessoal tem veiculado Ciência não só na televisão mas veiculando muito mais Ciência do que antigamente nos jornais, em revistas, coisas do tipo – com isso gera-se um problema muitas vezes. Dependendo de quem escreve ou dependendo de quem faz o filme, um determinado conceito que tem a ver com Genética, que tem a ver com material genético e com Biologia Molecular é totalmente distorcido. Um deles, um dos mais frequentes, é o conceito de código genético. Acho que isso na escola tem que ser colocado de uma maneira muito clara e enfatizada, até (00:09:00) pedindo para as pessoas tomarem cuidado ou, eventualmente, até fazer com que essas pessoas assistam determinados documentários e tragam as dúvidas para a sala de aula porque alguns conceitos têm sido absolutamente desvirtuados, um deles é o código genético. (00:09:20) Outros conceitos que estão por de trás de Genética do ponto de vista molecular, por exemplo, genoma, você vira e mexe ouve falar que o genoma de não sei que bicho foi sequenciado. Esses conceitos precisam ser muito bem trabalhados. Eu acho que tem que ser melhor trabalhados ou trabalhados com mais tempo na sala de aula para a pessoa não sair com nenhuma dúvida e até criticar o que ela escuta de um documentário ou lê em uma revista. (00:10:00) Eu não lembro de muito mais dessa parte de Genética e código genético, da parte de Biologia Molecular que vem associada com a Genética. Mas o que a gente tem percebido,

inclusive de alguns alunos que chegam aqui à universidade, é que essa dúvida ela persiste. Não sei se porque esqueceram, se a coisa não foi bem dada no colégio ou se porque com o bombardeamento de informação equivocada a pessoa acaba incorporando aqueles conceitos que são colocados erroneamente nesses documentários ou algumas vezes até em artigos de revistas ou jornal. Por exemplo, é muito comum você ver o pessoal em dúvida (00:11:00) quanto à ideia de código genético. O pessoal imagina muitas vezes que código genético é uma coisa particular de cada indivíduo, que cada um tem o seu código genético...você escuta muitas vezes...Ou então: “nos códigos genéticos ou no código genético de tal organismo”, isso não faz sentido nenhum. O código genético é um só. Ele é um só, é utilizado de vírus até mamíferos. Então, porque falar em códigos genéticos? E agente escuta esse tipo de coisa frequentemente. Isso tem a ver com Genética? Tem a ver com Genética e com Biologia Molecular, um conceito que normalmente é trabalhado na escola, mas que a gente tem visto problemas na hora que a gente recebe estes alunos aqui na universidade. E muitas vezes a gente tem que voltar a um conceito que deveria ser muito claro para esses alunos desde a época do colégio. (00:12:12) Então, o problema maior que eu tenho visto é o tratamento que alguns conceitos recebem quando a Ciência começa a ser divulgada, coisa que é muito boa por um lado, mas ela precisa ser bem divulgada se não particularmente aqueles que estão interessados em Ciência...em se formar em Ciência vão ter problemas quando chegarem aqui e a gente vê isso. Eu não pensei muito mais a esse respeito, mas eu acho que esses pontos são muito importantes porque com o passar dos anos a gente vê que não tem mudado a dificuldade de alguns alunos em relação a esses conceitos. (00:13:00) Então, uma abordagem histórica na medida do possível tentando explicar como é que o pessoal chega em um conhecimento...por exemplo: Mendel. você pode dar um curso em que as pessoas resolvam qualquer exercício de Genética porque, sabendo operar algumas coisas ali você consegue o ferramental para resolver problemas. Mas é importante, por exemplo, falando da Genética, fazer uma discussão com os alunos sobre o que se sabia sobre herança antes do Mendel. Até para o pessoal... Porque muitas vezes o que acontece lá na escola é o seguinte: o Mendel descobriu as leis da Genética. Está bom, e o que se sabia antes? É importante mostrar (00:14:00) a verdadeira bagunça que se fazia com essa história de herança antes do Mendel até para se dar valor ao trabalho dele. Dificilmente um aluno vai chegar aqui na faculdade e dizer “Olha, eu acho que esse Mendel fez uma coisa realmente muito importante”. E muitas vezes só aqui o pessoal percebe que o trabalho do Mendel é possivelmente mais importante

que foi feito na Genética em todos os tempos, pois ele fez com que as pessoas não só entendessem a herança, mas conseguiu inclusive formular a herança em um modelo matemático muito simples e isso é uma coisa absolutamente genial e que pouca gente “cai”. (00:14:45) Então, seria interessante que esse tipo de coisa já fosse trabalhada no colégio também. Como? Mostrar o que o pessoal desde a época de (00:15:00) Aristóteles ou até pré-Aristóteles sabia a respeito de herança a partir dos escritos que chegam para a gente de coisas de História da Ciência. Eu acho que isso é muito importante. (00:15:18) Em Genética eu não teria muito mais para falar para você a respeito. Eu não sei se você tem alguma questão mais particular, mas na minha opinião o que tem faltado é isso, é mostrar como é que esse conhecimento se constrói. Isso vale para a Genética, que você está levantando, mas vale para qualquer ramo de conhecimento. Mas em Genética e em Biologia Molecular eu acho que esses pontos têm que ser trabalhados. Na medida do possível, o que desse para fazer de experimentação... (00:16:00) Tem uma série de colégios que no laboratório já tem que fazer alguma coisa simples como a extração do DNA usando ferramentas caseiras, por exemplo. Isso é legal. Sempre que der para você fazer alguma coisa no laboratório em paralelo fora a sala de aula é sempre interessante. Mas eu enfatizaria essa questão histórica. (00:16:26) Eu lembro até do seu orientador – quando foi...ano passado ou ano retrasado – que deu um seminário a respeito do Darwin mendeliano. Foi uma surpresa para muita gente. Estava cheio porque realmente foi uma novidade muito grande e muitas vezes aqui mesmo a gente tinha (00:17:00)... É verdade que o Darwin não conhecia os trabalhos do Mendel, mas o que a gente não sabia eram as tentativas do Darwin de tentar compreender mecanismos de herança com base naquilo que ele pensava. Evidentemente isso já sai um pouco fora do esquema do segundo grau. Isso é para quem já está realmente interessado na coisa... Mas é importante como a história do conhecimento precisa ser conhecida. Eu acho que isso continua faltando muito nas escolas seja por falta de... É... Eu não sei, eu tenho a impressão que à parte USP... a formação dos professores também deixa um pouco a desejar (00:18:00) em relação a isso. Procura-se dar um privilégio para o conteúdo sem explicar como é que esse conhecimento se constrói. É a fórmula para o curso virar uma chatice muito grande. A não ser que você tenha aquelas pessoas que realmente estão muito interessadas no assunto e que acabam se interagindo e em uma dessa também, pouco preocupadas com a construção do conhecimento: “Eu quero aprender a fazer exercício para resolver o meu problema no vestibular” e tal. Em relação a isso, você pode fazer um curso totalmente voltado à resolução de problemas sem se preocupar

com a construção de conhecimento. Mas eu acho que construção de conhecimento deveria vir à frente dos exercícios que são uma consequência disso, desses conhecimentos que você gera. (00:18:57) Eu não sei se ficou muito curto mas basicamente é isso. (...) (00:22:13) Mas resumindo, pensando nos conteúdos atuais o que for possível passá-los em uma abordagem histórica e particularmente aquilo que vem sendo veiculado... transgênicos. Porque vira e mexe você escuta falar alguma coisa de transgênicos. Então, para a questão da formação do cidadão ainda que essa pessoa não vá estudar Biologia, nem Bioquímica, ela precisa ter uma ideia. Eu não sei como é que isso tem sido dado na escola. Mas, evidentemente, esses conceitos (00:23:00) básicos de Genética são fundamentais até para a pessoa entender o que é um organismo transgênico, quais são as diferenças dele, como é que você gera um transgênico, quais são as semelhanças e as diferenças para variedades de espécies que você encontra na natureza inclusive, vantagens e desvantagens. Isso aí seria muito importante abordar. Porque você está comendo transgênico, está lendo transgênico, está ouvindo falar de transgênico... Então, isso é importante. Mas para isso precisa vir antes o resto. (00:23:49) O que mais em Genética...? Ah eu deixaria para você conversar com a ((fala o nome da docente DB6, a qual aconselhou entrevistá-la), por que ela vai possivelmente falar de alguma coisa de doença e tal. (00:24:00) Não sei se eu te ajudei muito mas.. Eu espremi, espremi, mas no fundo é o que eu penso mesmo. É o método. Eu estou muito menos preocupado com o conteúdo, mas com o método como você passa essas coisas para os alunos. Porque conteúdo você tem os livros didáticos. Você tem livros excelentes que cobrem tudo, cobrem até demais. Peguei um livro do ((fala o nome de um docente que escreve livro didático para Ensino Médio))... os últimos livros do ((repete o nome do docente)), a quantidade de informação que tem... eu até comento com ele, mas ele fala assim “A gente tem que fazer um livro e o pessoal pede que você coloque isso no livro.” Se isso vai ser trabalhado no curso...? Evidentemente que é impossível você trabalhar tudo o que tem ali em um curso. Mas eu acho que o mais importante é a abordagem. Se bem dado, ainda que pouco, as pessoas sabem do que se trata. Se você dá um calhamaço (00:25:00), entra por um ouvido e sai pelo outro.

(00:25:04) E: Inclusive é por isso que nós estamos fazendo essa pesquisa. Porque o conhecimento de Genética vai se expandindo cada vez mais, a Biologia Molecular está cada vez mais presente dentro do Ensino Médio, pelo menos nos livros didáticos – eu também vou fazer uma análise dos livros didáticos dentro da minha pesquisa. Mas o que seria básico para esses alunos saberem? O que eles não podem sair de lá sem saber? Por isso que a gente está

fazendo essa pesquisa. Então, só resumindo para ver se o senhor gostaria de complementar com alguma coisa, e aí eu pediria para o senhor pensar nesse momento não só na parte de Biologia Molecular, mas na Genética total...

(00:25:48) DB5: Eu falei de Mendel e quando a gente está falando de Mendel a gente está falando de uma Genética vegetal. Mas ainda na Genética Clássica, você tem a Genética animal que é a drosófila. (00:26:01) É fundamental a Genética Clássica de drosófila... o que é básico aí? Como é que os cromossomos da drosófila ajudaram a entender a herança. A famosa teoria cromossômica da herança que vem lá da escola do Morgan. Tudo o que você tem em um livro didático a respeito da questão da... eu não vou entrar no conteúdo, porque o conteúdo os livros normalmente dão ali, então...a herança ligada ao sexo, herança autossômica não ligada ao sexo, estão lá. Agora, como é que a drosófila serviu e porque é que a drosófila serve como um modelo para você entender a Genética animal, é fundamental. (00:27:07) Aí você vai entrar na questão dos cromossomos gigantes, nos mutantes... Então, o que é fundamental? De Genética mendeliana vegetal, todos aqueles experimentos que o Mendel fez; e em Genética de drosófila: tudo. Porque você tem desde a parte da herança qualitativa até a herança quantitativa, que é uma coisa até um pouco mais difícil de você entender. Se bem que herança quantitativa você também com Genética vegetal você cobre essas coisas aí. (00:28:00) Dali a história de mutação é fundamental, porque vai aparecer depois quando você estuda a estrutura do material genético, qual é a base molecular de mutação. O que mais? (00:28:36) Na realidade é assim, em Genética...eu vou deixar... eu quero que você converse com a ((docente DB6)) porque certamente ela vai falar: “Olha apesar da Genética da drosófila e da Genética mendeliana serem importantes a gente precisa passar alguma coisa de Genética Humana.” porque ela é uma geneticista humana. É verdade que a Genética Humana não teria existido sem a Genética da drosófila. (00:29:00) Existem algumas coisas em Genética Humana que eu deixaria para a ((docente DB6)) sugerir. Na verdade eu estou mais para a Genética da mosca, porque eu trabalho com moscas do que... Então, eu vou deixar para ela, eu não vou dar palpites. Porque também tem uma coisa, se nós formos dar Genética Humana no colégio com a Genética de drosófilas, você tem um limite de tempo para dar essas coisas. Se você quer a minha opinião, eu acho que a Genética da drosófila cobre, pelo menos os aspectos básicos. Porque, evidentemente, se cair alguma coisa no vestibular ou em alguma prova de Genética Humana, os princípios básicos de herança (00:30:00) serão os mesmos: herança ligada ao sexo, restrita.... Em drosófila você tem...o trabalho de drosófila cobriu tudo isso.

Embora, claro, o geneticista humano vai ter suas peculiaridades de estudo e ele não vai utilizar a drosófila como modelo, né? Mas, na minha opinião, a Genética de drosófila resolve para efeitos de entendimento dos mecanismos de herança, no caso, animal. (00:30:46) Saltando para Biologia Molecular, “natureza do material genético” com aquela história que eu te falei dos experimentos que levaram à descoberta do DNA e não de outras moléculas com o material genético. (00:31:01) Elucidação da estrutura do DNA e replicação do material genético e como é que o material genético transmite as informações hereditárias. Aí você vai entrar em todos aqueles aspectos de transcrição, tradução, código genético, super importante a história do conceito de material genético que o pessoal faz muita confusão, e como é que a partir disso você tem síntese de proteínas. (00:31:57) Para falar de transgênicos, que eu tinha comentado (00:32:00) com você, algumas metodologias de Biologia Molecular precisariam ser explicadas ainda que superficialmente, até para a pessoa poder entender como é que se faz um organismo transgênico. Eu não saberia te dizer agora, eu não te daria agora, que técnicas...eu não explicitaria que técnicas, mas existe um conjunto de técnicas aí, pelo menos um mínimo delas, que precisariam ser explicadas para o pessoal entender por exemplo como é que se faz um organismo transgênico, seja uma planta ou um animal. (00:33:00) Em cima disso, questões éticas relacionadas a, por exemplo, transgênicos. Eu não colocaria nem questões éticas né... implicações sociais dos transgênicos. Isso aí precisaria ser bastante discutido até para o pessoal começar a ter uma ideia do impacto dessas metodologias no cotidiano das pessoas... Eu acho que já tem bastante coisa. Pensando até no que é o programa do 1º grau, 2º grau. Aí teria bastante coisa já para ser abordada. Eu acho que o resto eu deixaria para a ((docente DB6)), porque a ((docente DB6))... como eu te falei, eu tenho um viés que é mais o da Genética (00: 34:00) animal clássica, porque eu estou com moscas. A ((docente DB6)) já trabalha com Genética Humana, uma Genética Humana voltada para enfermidades e tal. Então, eu acho que aí ela vai ter dar uma visão talvez um pouquinho diferente da minha, possivelmente vai complementar aí. Se vai caber tudo isso no curso eu não sei mas, como eu te falei...

(00:34:29)E: Na verdade eu estou ouvindo a opinião de vários docentes justamente para isso. Para ver o que eu consigo extrair da opinião de cada um. Então, é importante mesmo saber o que é que cada um pensa, entendeu? Para ver: bom, disso tudo onde estão os pontos em comum, entendeu? O que será que é realmente importante? Cada um tem sua opinião

especifica, mas o que eles concordam entre eles? Então, por isso que é importante saber a opinião de cada um.

(00:35:00) DB5: Legal. Tem alguma questão que você queira me fazer, que talvez não tenha sido coberta pela... Você sabe melhor do que ninguém do que é que você precisa aí...

(00:35:22) E: Antes eu vou fazer assim: eu vou rapidamente recapitular o que o senhor falou, só para o senhor durante isso ver se aparece uma coisa “não isso aqui é importante, eu esqueci de falar.” Bom, pelo que eu entendi o senhor acha que o curso de Biologia no Ensino Médio deve ter um enfoque histórico iniciando da descoberta do DNA. Então, conteúdos que devem ser incluídos: a descoberta do DNA...

(00:35:50) DB5: A descoberta do DNA como material genético. Porque se você olhar a história disso, a descoberta do DNA está lá no século XIX, mas ninguém (00:36:00) tinha a mínima ideia do que fazia o DNA. Então, quando a gente fala do DNA como material genético, então a gente está... aí vai para o século XX e aí vai para algumas descobertas muito importantes que levaram à essa conclusão. “Não, não é proteína.” Havia uma dúvida muito grande. O pessoal no fundo, no fundo, demorou um pouco para chegar na história de quais eram as moléculas da hereditariedade. E isso eu continuo achando que é muito importante a pessoa entender como é que se chegou nisso.

(00:36:42) E: O senhor falou também da estrutura e função do material genético...

(00:36:45) DB5: Isso já viria depois dessa parte da descoberta do DNA como material genético. Então, aí a gente já estaria falando das descobertas do ácido nucleico que é a dupla hélice e em cima da dupla hélice a questão de estrutura e função. Bom, o material genético precisa duplicar, ele precisa replicar nas divisões celulares, como é que isso acontece...em replicação do material genético. Aí existe, inclusive, uma abordagem histórica que pode ser aplicada, aquela história que está em todos os livros de que a replicação do DNA é sempre conservativa. Normalmente a gente recebe isso meio assim... Ó, ela é sempre conservativa “ponto”. Até tentar mostrar para as pessoas como é que se descobriu que ela era sempre conservativa, ainda que se demore um tempinho, é sempre interessante mostrar para as pessoas que esse tipo de (00:38:00) conhecimento não vem do nada, ele não cai do céu. Aí até também existem experimentos que mostram que ela é sempre conservativa. Seria interessante na medida do possível que isso fosse passado dessa maneira. Aí depois como é que o DNA transmite... como o DNA funciona como a molécula da hereditariedade. (00:38:34) Agora eu lembrei outra coisa superimportante pensando na Genética. Uma confusão que alguns fazem é

assim: você tem um DNA cuja estrutura é de uma dupla hélice... Tem gente que faz uma confusão tremenda disso na hora de transpor essa molécula. Porque essa molécula no núcleo está em algum lugar, está em uma estrutura. Quer dizer, ela é uma estrutura, mas que está dentro de uma outra estrutura chamada cromossomo. E aí rola uma bagunça muitas vezes da dupla hélice no DNA com um organismo diploide. Tem gente que acha que uma cadeia está em um homólogo e que outra cadeia está em outro. Então, essa questão... nesse ponto, é muito importante você mostrar para as pessoas como é que esse material genético está organizado no núcleo. Até para o pessoal entender depois como é que se dão as divisões celulares, porque pode rolar uma confusão tremenda dessa dupla hélice com a sabe... com um organismo diploide, cromossomos homólogos. (00:40:01) Então, aí é muito importante tentar juntar essas coisas nesse ponto porque senão a confusão pode ser total. Tá? Então, aí esses conceitos de Biologia Molecular precisam de alguma maneira se entrelaçar e que tudo fique muito claro em relação à Genética, pensando em cromossomos: conceito “cromossomo”, conceito “organismos haploide”, conceito “organismo diploide”. Os alunos não podem ficar com essas dúvidas: “Bom, mas espera aí, é uma dupla hélice... mas aí no cromossomo como é que...mas espera aí é uma cadeia só em um cromossomo e aí a complementar está no cromossomo homólogo?” Precisa (00:41:00) trabalhar isso bem. Porque essa confusão chega aqui na faculdade. Não chega a 100% dos alunos, mas você vê gente que faz a confusão. E a gente trabalha inclusive uma revisãozinha de conceitos logo no começo do curso quando a gente vê que essas dúvidas aparecem. Tá? (00:41:33) Então, essa integração da Genética Clássica com a Biologia Molecular, principalmente para o pessoal enxergar no núcleo ou nos cromossomos como é que esse material genético está organizado, é muito importante. Aí depois, evidentemente, função: como é que se dá a transmissão das características hereditárias. Aí é trabalhar a história da transcrição gênica. (00:42:00) Evidentemente conceitos de gene precisam ser trabalhados... o que é um gene... Até para você novamente fazer um enlace do que é conceito de gene, pensando em Biologia Molecular e aqueles conceitos de gene que vêm da Genética Clássica. E ressaltar algumas diferenças e algumas semelhanças que, de vez em quando, que você pode estabelecer. Então, nesse sentido aí, Genética e Biologia Molecular, embora a gente separe aqui em dois cursos, a gente procura sempre estar lembrando o pessoal que teve Genética antes, falando assim: “Vocês lembram (00:43:00) lá como é que era? Olha agora a gente está tratando em nível molecular mas vocês não podem perder de vista que essas coisas estão acontecendo e elas estão dentro de estruturas.” Então,

sempre procurar fazer essa ponte e não deixar a coisa solta. Isso eu tinha esquecido de falar e é super importante.

(00:43:31) E: Então, deixa eu ver, eu parei aqui né? Eu estava recapitulando aí eu parei... estrutura e função do material genético, síntese proteica...

(00:43:44) DB5: Código genético. Aí dentro está o código genético...

(00:43:45) E: ...replicação...

(00:43:46) DB5: A replicação vem antes até para o pessoal entender no momento da divisão celular o que é que está acontecendo com esse material genético.

(00:43:53) E: O senhor falou também de estar incluindo a divisão celular nesse processo.

(00:44:00) DB5: Exatamente. Mostrar quando o material genético replica com a divisão celular como é que é a divisão desse material ali para as células filhas.

(00:44:10) E: O conceito de genoma.

(00:44:14) DB5: Gene, genoma.

(00:44:19) E: Gene, certo. Mendel o senhor falou que seria interessante mostrar o processo tanto as ideias de herança anteriores a Mendel...

(00:44:30) DB5: Anteriores a Mendel... Ah sim muito importante.

(00:44:34) E: Para eles compreenderem a importância do trabalho de Mendel...

(00:44:36) DB5: Aham.

(00:44:38) E: Transgênicos, envolvendo as técnicas utilizadas, os conceitos básicos, qual a diferença de um material transgênico para um material em ambiente natural. A Genética Clássica da drosófila...

(00:45:00) DB5: Aham. É, eu tinha comentado com você que a parte dos transgênicos, depois da parte técnica, as implicações dos transgênicos para a vida, para o cotidiano das pessoas é uma discussão importante.

(00:45:18) E: Questões éticas, implicações sociais... Aham. Bom, não sei se o senhor gostaria de... E a questão de como o material se estrutura dentro da célula. Do núcleo celular.

(00:45:33) DB5: Exatamente. Isso não está solto, isso está em uma estrutura. Então, aí, a integração com aquela parte mais clássica da Genética, os cromossomos, os organismos diploides, haploides...

(00:45:49) E: Então, agora eu dei uma recapitulada em tudo o que o senhor falou. Tem alguma coisa a mais que o senhor...

(00:45:54) DB5: Eu acho que basicamente é isso. São as grandes dúvidas que muita gente ainda traz depois do colégio para cá.

(00:46:07) E assim, basicamente, se o senhor fosse resumir as justificativas que o senhor adotou para escolher esses conteúdos, como que o senhor justificaria a escolha desses conteúdos?

(00:46:20) DB5: Uma frasezinha bem curtinha: O conhecimento se constrói. Você não soca o conhecimento... o conhecimento não cai do céu.

(00:46:39) E: E assim, durante as entrevistas eu estava vendo que tem posições diferenciadas entre os professores e os docentes e algumas pessoas acreditam que... eu vi que na posição do senhor é importante ensinar Biologia Molecular no Ensino Médio, né? Mas algumas pessoas acham que seria melhor se concentrar nesse nível de ensino na Genética Clássica, nos padrões de herança mostrados por Mendel. Se concentrar mais nisso e não se aprofundar, não entrar em Biologia Molecular nem nas novas tecnologias relacionadas a transgênicos...

(00:47:26) DB5: Nessa altura do campeonato é impossível você fazer isso.

(...)

(00:48:22) E: O senhor falou que é imprescindível..

(00:48:23) DB5: Ah eu acho que, como eu te falei, nessas alturas do campeonato você ficar só com a Genética, por mais importante que seja não dá. A população tem sido bombardeada com Biologia Molecular em um nível mais básico ou menos básico. Genética, material genético, DNA, genomas, transgênicos... É impossível você não...seria uma perda muito grande...

(00:48:55) E: E o senhor acha que... Assim, as justificativas que essas pessoas apresentaram é que (00:49:00) o aluno não consegue compreender nada muito bem, então se você se concentrasse apenas na Genética básica ele teria uma chance maior de se aprofundar naquele conhecimento e sair realmente aprendendo pelo menos isso, enquanto outros professores tentam inserir tudo e aí os alunos saem do Ensino Médio não entendendo nada, nem o clássico nem o molecular. O que o senhor acha?

(00:49:27) Eu não sei...olha eu acho que...eu não sei o que eu faria porque eu sai do colégio, mas eu lembro que a gente ficava muito tempo na Genética Clássica para entender até todos aqueles mecanismos. Herança ligada ao sexo, parcialmente, restrita. Não se dava pouca importância para ela e eu acho que continuam dando a mesma importância. O que não dá é você voltar para a década de 60, ou antes, quando a Biologia Molecular ainda não tinha a

importância que tem hoje. Seria tapar os olhos para uma realidade inegável. As pessoas precisam entender essas coisas, até para a formação de cidadania. Você já pensou um aluno desse lendo um jornal, ou ouvindo falar de transgênico, e aí? Eu acho que não dá.

(00:50:51) E: Ok... Tudo bem então, eu agradeço. Não sei se o senhor quer complementar com alguma coisa...

(00:51:00) DB5: Eu acho que se você tiver qualquer dúvida ou inclusive se você precisar de alguma coisa você já tem meu *e-mail*, você entra em contato. Se eu lembrar de alguma coisa importante que eu deixei passar eu entro em contato com você. Mas eu acho que basicamente é isso mesmo.

## **DB6**

(00:00:45) DB6: Na minha opinião o Ensino Médio devia enfatizar o que da Biologia é de conhecimento geral e acaba passando por todas as áreas da Biologia, ou seja, aquilo que se aplica desde as plantas aos organismos superiores aquilo que eu considero mais abrangente. Então, eu acho fundamental noções de Teoria da Evolução, o que eu acho que algo que norteia todas as ideias que a gente deve ter sobre vida na Terra. Da Genética acho que a Genética Clássica, mendelismo, a primeira lei, segunda lei de Mendel são fundamentais, mas tenho minhas críticas sobre a maneira com que elas são apresentadas e como elas são absorvidas que ainda me dão a sensação de muita bitola na resolução do problema, de frases feitas do tipo pais normais, pais diferentes, filhos normais, como é que é? Pais normais filhos afetados, herança recessiva, alguns vem com frases feitas e às vezes a minha impressão é de que apesar de ser ensinado não é ensinado de uma forma muito crítica e os alunos trazem muita bitola e muita frase feita sobre padrões de herança. (00:02:24) Da parte molecular o meu conhecimento fundamental é a química da célula, eu acho que é uma coisa muito importante, o aluno tem que saber o papel da água, o que é um carboidrato, o que é uma proteína, o que é um ácido nucleico e o código genético, ele é central também. Então, eu diria que Teoria da Evolução e o código genético são pontos que não podem faltar. O aluno tem que entender como o material genético governa a função da célula e ele vai entender isso no código genético. Uma coisa que está por trás de tudo isso que eu falei é a divisão celular, a

meiose, por quê? A meiose explica a transmissão mendeliana das características, correto? Então, ela explica a primeira Lei de Mendel, a segunda Lei de Mendel. A meiose explica a diversidade dos seres vivos que o substrato da Teoria da Evolução, substrato para o processo evolutivo. Então, a divisão celular e a meiose são uma das coisas mais centrais que tem, se você for pensar no Ensino Médio. O camarada que não entendeu a meiose ele é um camarada fadado a aprender uma série de conhecimentos como estanques, como compartimentos, ele é incapaz de fazer síntese. (00:03:26) Então, eu não estou muito próxima dos livros didáticos do Ensino Médio, na minha opinião o que eles apresentam até que é adequado, o meu problema é a maneira como isso vai ser processado. Então, um professor dá a primeira e segunda Lei de Mendel e não fala nada de meiose. No outro ano, na Biologia Celular, vai dar mitose e meiose e o camarada não amarra aquela meiose, aquela separação dos cromossomos com aquela separação lá dos alelos, dos fatores de Mendel. (00:03:52) Então, ele terminando separado, ele não junta isso, não tem nada a ver a segregação com a meiose. Aí você fala que a reprodução sexuada é importante porque ela aumenta a variabilidade genética e isso é o substrato da evolução e o camarada não liga isso com o sorteio dos cromossomos que acontece na meiose de todo ser vivo diploides (00:04:14). Então, eu fiquei muito feliz que meu filho que está no Ensino Médio veio mostrar pra mim aquela conta de quantos gametas diferentes um ser humano pode produzir somente pela segregação, pelo sorteio ao acaso dos seus vinte pares de cromossomo. Ele gosta mais da parte de exatas e ele conseguiu entender (...). Então, pra mim um aluno do Ensino Médio que chega nisso ele é um feliz, porque ele entende a diversidade genética do processo evolutivo, ele entende a transmissão mendeliana das características, vai entender talvez melhor ainda uma herança quantitativa (00:04:55). Então, eu acho que esses são os conhecimentos que deveriam ser priorizados, mas eu acho que ainda está faltando muito pra integrar. Então, o cara vê a Teoria da Evolução aqui, aí ele vê a meiose aqui na Biologia Celular, aí ele vê o Mendel lá e eu fico angustiada em pensar será que os professores têm essas sínteses nas suas cabeças pra conseguir passar isso para os alunos? Então, tem hora que eu fico meio angustiada. Entendeu? Dá a impressão de que é talvez o professor que não esteja muito apto para fazer essa síntese. Então, eu não acho que os conteúdos estão inadequados, eu acho que a forma com que eles são processados é que está esquisita (00:04:44) Então, vou dar um exemplo da minha área, eu sou Geneticista Humana, então pra mim incomoda, por exemplo, você dá a hereditariedade, você dá os fundamentos nas ervilhas, é obvio que a história de um monge que fica cruzando ervilha não é muito excitante para o

estudante de Ensino Médio. Os exemplos humanos são muito mais atraentes, tá na cara que as pessoas querem compreender mais como elas funcionam, porque elas têm olhinhos verdes ou porque o cabelo é liso do que saber se a ervilha do monge era amarela ou verde. (00:06:14) Então, o que que acontece? Então, vem os exemplos de Genética Humana e aí começam as inadequações. Primeiro, as primeiras que me incomodam, tratar como monogênicas características que são poligênicas ou multifatoriais. Por exemplo, tratar a cor do olho como monogênica tratar a cor da pele como característica monogênica, tratar se o cabelo é liso ou crespo com regra simples que qualquer aluno de bom senso que chegar em casa vai ver que não funciona. Então, por que que se insiste em problemas, ainda que sejam uma simulação, seja um pressuposto, a repetição desses exemplos? ... depois o aluno chega aqui na faculdade achando que olho claro é recessivo, olho escuro é dominante, e que é sistema monogênico (aquela coisa), ou seja, a pessoa de olho claro que casa com alguém de olho claro nunca vai ter filho de olho escuro, o que é uma grande mentira, é só você sair por aí que você vai achar exemplos desse tipo. (00:07:17) Então, a escolha do exemplo é infeliz. Então, eu acho que os professores tinham que ser rigorosos em ter exemplos reais pra não difundir pela população alguns mitos de que cor de olho, que cabelo liso, cabelo crespo, cor da pele, seja lá o quê, sejam tratados como simplificações de herança monogênica. Isso já causa uma distorção horrorosa. A outra que eu acho que o professor de Ensino Médio não está muito preparado para lidar é que é assim, a partir do momento que você dê exemplos de doenças com mecanismos monogênicos claros, olha essa doença é recessiva ligada a X, essa é dominante, ainda que os exemplos estejam corretos, os alunos automaticamente vão transpor para doenças que eles estão acostumados mais a ver nas pessoas que são de fato os grandes problemas de saúde pública, diabetes, pressão alta, o câncer e etc. (00:08:15). Então, eles vão começar a olhar o câncer da vovó, o diabetes da vovó, a pressão alta do papai e eles vão tentar aplicar os mecanismos mendelianos monogênicos para explicar isso e também vão ver... vão tirar conclusões erradas e vão ver que também não vai funcionar bem e vão perguntar isso pro professor. Eu não sei se o professor está preparado para lidar com essa pergunta. Eu não sei o que o professor responde nessa hora porque muitos deles não estudaram herança poligênica ou multifatorial. Então, eu acho que precisa, eu vejo os professores e dá a impressão que eles abandonam herança poligênica no fim do curso porque é difícil, então dá a primeira lei, segunda lei, mapeamento, e deixa a poligênica que é chato para o fim. Mas de fato a herança poligênica e multifatorial é o que explica a maior parte dos fenômenos que a gente está vendo.

Então, os problemas de saúde pública mais importantes, diabetes, hipertensão, que os alunos veem em casa não se encaixam na herança mendeliana e os professores não ensinam o poligênico e o multifatorial. (00:09:16). Se bobear, o professor talvez até fale coisa errada, não sei o que os professores falam, nunca tive essa experiência de perguntar o que que o seu professor disse sobre diabetes, o que disse sobre hipertensão, o que disse sobre o câncer. Então, eu imagino que os professores sabem muito pouco da herança dessas doenças que o mecanismo mendeliano simples não explica. Então, estudar... a herança multifatorial fica abandonada no Ensino Médio e aí os exemplos que são usados nos problemas de Genética acabam não servindo pra muita coisa porque eles só servem para uma coleção pequena de doenças muito raras para os quais esses mecanismos de fato se aplicam. Eu acho que o professor tinha que estar habilitado pra mais tarde falar de coisas comuns, falar um pouquinho de câncer, doenças coronarianas, entendeu? Ler um pouquinho mais sobre isso, pois o aluno vai perguntar. Ele vai falar minha vó tem diabete e toma insulina, diabete é dominante? O meu pai também vai ter diabete? Eu vou ter? ( ) Eu não sei se o professor está capacitado para lidar com isso.

(00:10:21) E: Então, na sua opinião também seria importante ensinar a herança multifatorial para eles no Ensino Médio?

(00:10:22) DB6: É. E o efeito do ambiente. Enfatizar o efeito do ambiente porque o risco de você ficar fazendo muitos problemas de Genética é o aluno sair com um conceito super determinista de Genética. Meu gene diz tudo. E não é verdade. (00:10:44) Eu lembro que eu tinha 14 anos de idade, primeira aula de Biologia que meu professor deu, ele mostrou um experimento clássico, não sei se você lembra do coelhinho do Himalaia, aquele que dava uma coisinha gelada, e o pelo do coelho mudava de cor, punha uma compressa fria o pelo era mais escuro, mais claro, uma coisa assim. E era claro e obvio que o ambiente estava modificando a cor do pelo do coelho. Nem sei se isso era assim mesmo, mas nunca mais vi isso. Mas ele escreveu na lousa, no primeiro dia de aula, eu tinha 14 anos, que fenótipo é igual a genótipo mais ambiente. O ambiente some depois da hereditariedade. Ele só volta à ( ) na herança multifatorial, você entendeu? Na herança multifatorial, herança poligênica. O ambiente fica um pouco obscurecido. Então, sai também o aluno com falso determinismo genético na cabecinha. (00:11:45) Então, é minha impressão, que o ambiente está meio escondido. O outro assunto que eu comentei, código genético, pra mim um dos conhecimentos mais centrais da Biologia. Estou cansada de ouvir aluno da Universidade, até professores dessa

Universidade usarem esse termo de modo inadequado. Eles usam esse termo, código genético, como sinônimo de material genético ou constituição genética do indivíduo. Então, saem pérolas, os alunos falam ‘cada um tem seus códigos genéticos’, mentira, código genético é um só, é universal. Então, isso significa que os professores estão usando código genético como sinônimo de material genético, constituição genética de um ser, isso não é verdade. Talvez uma espécie de sinônimo de genoma. Então, esse termo está rodando na boca do estudante da faculdade de modo errado, a gente bate o pé com isso e continua aparecendo e aparece até em entrevista de professores doutores da genômica, etc., que falam essas coisas no rádio e na televisão e eu fico incomodada, eu falo “Gente, o código genético é aquele das letrinhas, que é universal, cada um tem seu código genético!? Cada um tem seu material genético! Cada um tem sua própria constituição genética. O código genético está na coisa das letrinhas lá”. Então, os alunos estão vindo falando.... (00:13:11). Eu peguei um teste do ENEM, na prova do meu filho do Ensino Médio, a resposta correta do teste era uma frase em que o código genético estava sendo usado não no sentido da correspondência das sínteses dos aminoácidos mas ele estava sendo usado como sinônimo de material genético, o genoma do organismo. Uma resposta correta do ENEM para selecionar 40 mil jovens que entraram nas universidades federais. A resposta correta incluía o uso errado do termo código genético. (00:13:52) O que pra mim é o cerne da Biologia, uma das coisas mais importantes da Biologia, está com o nome rolando por aí com outro significado.

E: Na sua opinião, por que que seria tão importante ele entender a diferença entre código genético e genoma?

DB6: Porque são coisas muito diferentes. Quando sai hoje no jornal, decifraram o código genético do peixe não sei das quantas, é uma mentira, o que fizeram foi sequenciar o genoma do peixe tal. Decifrar o código genético é uma coisa que já aconteceu em 1963/64. Então, eu acho imperdoável, eu acho que vai caindo na mídia, vai distorcendo de modo que hoje eu pego o jornal e está escrito uma coisa que é mentira. Decifraram o código genético do peixe tal. Mas, gente! Pelo amor de Deus! Código genético foi decifrado em 1964 com aquele povo que você estudou na Biomol, entendeu? Não dá. Você concorda? (00:15:02) Que aí vai para a mídia, vai pra novela das oito, vai para o Fantástico e cria-se uma coleção de pessoas que pensa que sabe uma coisa e não sabe. Eu acho que, é a mesma coisa, sei lá um zoólogo não fica ofendido se você disser que uma aranha é um inseto? Não fica? Não fica muito bravo, o zoólogo se você falar “Ah, essa aqui é uma aranha, um inseto...”, eu também como geneticista

fico muito ofendida de usarem o termo código genético como sinônimo de sequenciar o genoma, ou sinônimo de genoma, são coisas muito diferentes que causam confusão. E a mim incomoda o mau uso dessas palavras. Eu suponho, posso estar supondo errado, que os professores de Ensino Médio não estão cautelosos no uso desses termos porque os alunos estão chegando na faculdade falando errado. A gente corrige e daí na prova aparece errado de novo. (00:16:00) Então, eu imagino que os professores do Ensino Médio não estão tendo essa cautela. Talvez, é uma coisa a se pensar, que o professor médio do Ensino Médio, é obvio que existem exceções, talvez não estejam muito atualizados nessas coisas. Talvez esse professor também não esteja no ponto de lidar com essas informações de Projeto Genoma e aí transgênicos. Eu acho que o pessoal não dá conta de acompanhar essa evolução tecnológica e se atualizar nesses termos que são novos. Fala, o que mais? Pode dirigir a entrevista vai... eu falei tanta coisa. Então, eu falei de pontos centrais eu falei de meiose, de teoria básica de processo evolutivo, falei da química da célula e do código genético, entender como o material genético governa a função de uma célula... eu acho esses pontos centrais.

(00:16:56) E: Genética Clássica...

(00:16:57) DB6: Acho que as leis da transmissão da Genética Clássica têm que continuar sendo dada, mas com muita cautela em seleção dos exemplos por que o uso de exemplos inadequados está perpetuando alguns mitos por aí, as pessoas tem ideias erradas a respeito de características genéticas, principalmente as humanas.

(00:17:17) E: ...a inserção de Herança multifatoriais e utilização de exemplos relacionados com doenças humanas...

(00:17:23) DB6: De preferência adequados. Exemplos corretos com embasamento teórico.

(00:17:28) E: Sim... o efeito do ambiente também relacionado a isso, deixar bem claro a definição de código genético, tem que deixar bem claro... Bom, por enquanto foi isso. Tem mais algo que você gostaria de complementar?

(00:17:44) DB6: Não... Eu acho que minhas colocações são essas. Tanto Genética Clássica e os exemplos de Genética Humana, precisa-se ter cautela na seleção de exemplos, que esses exemplos sejam realistas, que eles sejam de fato baseados na Biologia da doença, porque a criação de exemplo hipotéticos às vezes faz veicular mitos e a criar uma espécie de credence popular em cima de alguns assuntos que não são verdadeiros, entendeu?

(00:18:12) E: O pessoal fala muito que é importante ensinar transgênicos, Projeto Genoma, sobre temas atuais envolvendo Biotecnologia. O que a senhora acha a respeito disso? Porque eu encontrei opiniões diversas a respeito da inclusão ou não desses tópicos.

(00:18:45) DB6: Eu vou se muito honesta. Infelizmente eu acho que é um grupo seletivo muito pequeno de estudantes do Ensino Médio para os quais a gente de fato daria conta de explicar como se constrói um transgênico, como se faz um Projeto Genoma Humano. Seriam poucos alunos que eu acho, infelizmente uma população um pouco elitizada teria condições de fato de compreender com clareza todas essas coisas. Essas coisas são difíceis para um aluno, se ele não entendeu o código genético, se ele não entender como que o DNA se duplica, se ele não entender como é que o DNA transcreve o RNA mensageiro, vai ser difícil ele compreender, qual a importância de um sequenciamento do genoma, como é que você vai construir um transgênico... colocar um gene externo num vetor com plasmídeo colocar isso em outra célula. Isso não é trivial se o aluno não tiver entendido muito bem esses aspectos básicos que eu estou colocando. (00:19:43) Código genético, transcrição, tradução... tudo isso o aluno tem que ter uma visão muito clara para conseguir chegar nesse passo de entender o que que é um Projeto Genoma, o que que é um transgênico. Então, eu acho que deve ser introduzido desde que o professor perceba que esse enxoval básico é dominado. Ele pode oferecer, não vejo por que não. Eu acho que se o aluno está ávido em saber eu acho que a gente tem que dar, mas não adianta ficar discutindo... como que eu posso dizer... ficar reproduzindo discursos xiitas de telejornal sobre transgênicos se o aluno sequer tem capacidade de entender como é que um transgênico é construído. Eu acho que entender como que um transgênico é construído ajuda a desmistificar. Então, se você traz essa discussão do transgênico pra dentro da sala de aula sem condição de dar para o aluno ferramenta para ele entender de fato como a coisa é feita vai criar mito e vai ficar um bate-boca infrutífero. Você entendeu? (00:20:45) Fica um tal de achismos, aí fica um lado da sala, os eco-verde xiitas de um lado, os outros tecnológicos do outro e fica um achismo infinito porque ninguém tem um aporte técnico de conhecimentos para dar de fato uma opinião embasada. Se é pra repetir esse discurso bobo de revista e jornal eu não vejo porque trazer isso pra sala de aula. Mas se é pra dizer, olha o transgênico é construído assim, o gene da resistência ao herbicida está nessa planta, olha de fato isto aqui permite que o agricultor use o herbicida, você vai utilizar só um tipo só, por que é só isso que ele precisa nessa plantação. Olha, mas se ele usar outro herbicida isso não funciona... Quer dizer, se o aluno não tiver a informação técnica a discussão vira um blá blá blá, uma repetição

do que está no jornal e que é muito emocional pro meu gosto. (00:21:42) Então, ou o aluno tem condição de entender um pouco a mecânica, como é feito, como é construído, para que que serve, quais foram as coisas que se conquistaram com isso, vira mito, vira achismo, entendeu? E trazer isso pra sala de aula eu acho que pode não ser benéfico se não tiver bem embasado. É um risco grande fazer isso. Eu acho que tem professor no Ensino Médio com competência pra fazer isso mas eu não acho que isso é universal... entendeu? Então, eu acredito que uma nata de alunos e de professores tem a plena condição de dar conta disso e o professor tem a plena condição de trazer uma discussão muito saudável sobre isso, mas eu tenho medo de dizer que isso, olha vamos colocar nos currículos que tem que estudar transgênicos, eu acho que se o professor não estiver bem equipado para lidar com isso é melhor não dá do que ficar repetindo esse blá blá blá de mídia.

(00:22:49) E: Se a senhora tivesse que resumir a sua justificativa para inclusão desses conteúdos para um cidadão crítico, como a senhora justificaria a escolha desses conteúdos em si que a senhora apontou, desde a meiose, dessa conexão com a Evolução, Genética Clássica, a parte molecular, o estudo molecular do DNA, código genético, como que a senhora justificaria a escolha desses conteúdos para a formação do cidadão crítico? Por que eles são importantes para formar um cidadão crítico?

(00:23:30) DB6: Eu vou dar um exemplo pra você. Outro dia saiu um bate-boca numa revista entre dois cientistas que são verdadeiras vedetes da Genética Humana, um deles defendendo a realização de um teste genético que indica predisposição à doença de Alzheimer e o outro geneticista defendendo a posição contrária. Tem um teste que diz, se você está com um determinado alelo, e esse alelo aumenta talvez quatro ou cinco vezes seu risco de vir a manifestar a doença de Alzheimer. Não que quem não tem esse alelo não vai ter doença de Alzheimer e não obrigatoriamente você vai ter a doença de Alzheimer se você tiver esse alelo. Só compreende isso bem quem estudou a tal da herança multifatorial pode entender que certos genes têm efeito de predisposição a uma determinada doença, mas que eles não sabem quais são os determinantes da doença. (00:24:29) Então, um geneticista muito conceituado defende que todo mundo deveria fazer este teste e o outro mais sensato diz que ‘não, não muda’. Daí uma colega me escreveu e perguntou minha opinião e falei ‘olha, eu acho que todo mundo devia evitar o fumo, devia evitar comer porcarias, devia fazer caminhada todo dia para não ficar obeso, pra diminuir suas chances de ter diabetes, de ter um enfarte, devia praticar atividade física, acho que todo mundo devia fazer uma atividade de lazer que utilizasse sua

mente, como tocar um instrumento musical e tal. Todas essas coisas que eu falei, elas previnem doenças como obesidade, hipertensão, a doença de Alzheimer, a doença coronariana e tal, sem que você precise testar o genótipo de ninguém por isso. Independente de eu fazer o teste do Alzheimer ou não, se vai dar maior ou menor disposição para Alzheimer, eu fazer um teste médico pra me dar mais predisposição ou não para uma doença cardíaca, eu acho que eu tenho que tomar cuidado para eu não engordar, para eu não comer um monte de doce, para não comer uma picanha cheia de gordura porque dependendo do meu genótipo eu ainda vou ter o risco de uma doença cardíaca, de ter diabetes, que não é o genótipo que vai mudar minha atitude perante a vida (00:25:50)'. Então, você imagina se um estudante de Ensino Médio ou um professor de Ensino Médio escuta as duas estrelas da Genética batendo boca sobre esse assunto, como que essa pessoa vai formar opinião sobre isso se ela não entender essa mecânica que eu estou falando da doença multifatorial que é genes mais ambiente na probabilidade de você ter doença? Como que o cidadão comum que vai ler a coluna do Dr. Fulano na Veja e a coluna do Dr. Beltrano no Estado de São Paulo ele vai julgar se o Dr. A está falando uma besteira, se o Dr. B está falando a coisa certa, se ele não conhece essa mecânica? Entendeu? Então, precisa um pouco de tudo, precisa um pouco de meiose, precisa um pouco do código genético, um pouco da herança monogênica, um pouco da herança poligênica, então, eu acho que no mínimo pra você poder decodificar, ou então uma polêmica do tipo dos transgênicos, entendeu? Vou comer ou não vou comer o transgênico? Vou abrir uma caixinha de extrato de tomate com tomate transgênico ou não vou? Infelizmente precisa (00:26:59) E a realidade é que a grande maioria das pessoas, da população, não tem esse enxoval científico ainda para ter opinião formada sobre essas coisas. Então, me cansa a mediocridade dos achismos que eu leio na imprensa sobre algumas coisas, transgênicos é uma das que mais me incomoda.

(00:27:19) E: Bom, a senhora falou que esses temas, como por exemplo transgênicos, seriam secundários.

(00:27:25) DB6: Eu acho que é secundário, eu acho que não é toda classe que dá conta.

(00:27:29) E: Mas se ela não tiver essa base que a senhora falou a senhora acha que quando ele sair do Ensino Médio ele vai conseguir ler uma reportagem e compreender?

(00:27:44) DB6: Isso. Então, um aluno do Ensino Médio que o professor explicou que a obesidade, a hipertensão e a doença de Alzheimer são doenças multifatoriais e como elas são determinadas, ele vai ler o artigo do doutor Beltrano, ele vai se posicionar, entendeu? Ele vai

entender porque um doutor acha isso outro acha aquilo e como ele se sentiria, ele vai ter condição de opinar. Eu acho que se o individuo der conta disso tudo ele vai compreender bem. Ainda que o professor não tenha trazido exatamente a discussão da doença de Alzheimer para sala de aula, mas se ele souber a base do mecanismo de determinação desse tipo de doença ele vai entender a polêmica. E aí não vai ser só um achismo. “Eu achei que a coluna do doutor Fulano está mais bem escrita”, entendeu? E cadê Ciência que está atrás disso? Não tem. Infelizmente muita coisa que rola na imprensa é achismo não tem Ciência por trás. (00:28:44) Vários assuntos caem nesta roda. Os transgênicos, as células-tronco, entendeu? Eu já vi jogos de palavras com células-tronco, um mau uso de células-tronco assim escandalosos para manipular com a opinião, por textos escritos por médicos, por gente do meio científico que simplesmente queriam convencer as pessoas que célula-tronco embrionária é um absurdo. Então, uma doutora escreveu em um jornalzinho dizendo que se você injetar célula-tronco em um animal experimental ou em uma pessoa elas causam tumores chamados teratomas. É óbvio que isso é verdadeiro. Isso aí é uma definição de célula-tronco embrionária. Você injeta em um animal experimental e causa um cancer chamado teratoma. Justamente porque elas estão no estado de célula-tronco embrionária. Agora essa doutora não explicou que quando as pessoas planejarem fazer terapêuticas baseadas nisso elas já vão ter diferenciado as células-tronco em tipos celulares para eu tentar fazer medicina reparadora. (00:29:48) E que não se vai injetar a célula-tronco direto nas pessoas. E que antes disso vão ser feitos anos de testes em animais e que se eventualmente um tratamento desse aumentar a incidência de câncer nos animais, que isso não vai se passar para seres humanos. Mas ela começa com “Se você injetar célula-tronco embrionária em um ser humano ou em um animal experimental ele vai ter um câncer chamado teratoma”. É verdadeiro, mas isso é um jogo de palavras que não faz sentido. Todo mundo sabe disso. É verdade, mas o que está se falando em medicina regenerativa não é injetar células-tronco nas pessoas, é diferenciar essas células antes, entendeu? Você vê jogos de palavras terríveis na imprensa para manipular a opinião pública, entendeu? Aí vai chegar lá um aluninho do Ensino Médio “Professora, é verdade que célula-tronco dá câncer?” Será que o professor está apto para responder isso? É duro, né? O nosso mundo é muito duro. O professor tem que estar muito ligado (00:30:49) para falar dessas coisas. E aí às vezes eu fico pensando ele deve falar? Deve, se ele estiver equipado para isso. E eu acho que é melhor nem falar se for falar coisa errada. Porque eu acho que de achismos nós já estamos saturados. E o professor do Ensino Médio não pode correr esse risco

de dizer “Ah, eu acho que célula-tronco é assim, eu acho que os transgênicos são bonzinhos ou malzinhos”. Eu temo por isso. Então, se você põe uma lista na área - eu sei que as coisas não são mais assim - mas se você colocar como prioridades lá na diretriz de Ensino Médio que tem que falar dessas modernidades: célula-tronco, transgênicos, seja lá o que for, eu acho muito legal. Mas fica a minha pergunta, todo professor está preparado para isso? Para não criar mais confusão? Onde já tem o suficiente? Você está entendendo? Então, o meu ideal seria que todas essas coisas, essas básicas que eu coloquei como fundamentais como essas que eu considero sofisticadas, como Projeto Genoma, transgênicos, uso de células-tronco, terapia gênica, essas coisas todas pudessem ser abordadas no Ensino Médio. Que idealmente deveriam. Acho que contribuiriam para a formação de um cidadão crítico mas receio, seriamente, que, infelizmente, a maioria dos professores de Ensino Médio não está habilitada, não está preparada para encarar essa na sala de aula e fazer serviço melhor, de qualidade superior ao que a mídia está fazendo. Entendeu? Se for para manter o mesmo nível é achismo não é Ciência. É difícil viu?

(00:32:48) E: Bom, acho que a senhora conseguiu responder mais o menos o que eu precisava. Não sei se a senhora gostaria de acrescentar mais alguma informação...

(00:33:00) DB6: Um sumário de tudo o que eu falei é: coisas que parecem triviais como a meiose, primeira lei, segunda lei, probleminhas de Genética Humana e de doenças monogênicas parecem muito triviais. Parecem muito fáceis a primeira vista de serem ensinados quando de fato em minha opinião, não são. Estamos vendo pessoas que ainda estão vendo essas coisas ainda de forma compartimentalizada que grandes sínteses, por exemplo, o que a meiose tem a ver com primeira lei de Mendel até a seleção natural que Darwin postulou há 150, 200 anos atrás ainda há dificuldades. (00:33:45) Eu ainda acho que as coisas muito em frentes separadas e acho que os alunos têm dificuldades ainda de fazer conexões entre esses grandes conhecimentos. Então, isso é uma crítica. Eu acho que não é questão de dar ou não dar. Eu acho que você pode muito bem dizer “dei a meiose”. A pergunta é “os alunos entenderam o papel que a meiose tem na Genética mendeliana? Eles entenderam o papel que a meiose tem nos processos evolutivos?” Essas sínteses é que eu fico um pouco angustiada. Eu acho que elas estão meio perdidas. Que a maneira de operacionalizar conhecimentos principalmente da Genética Clássica a mim parece muito baseada em formulinhas prontas de cursinho de resolver problemas, sem uma reflexão muito maior. Então, não é dar ou não dar. É como dar. (00:34:45) Para que o aluno faça as devidas associações com os conhecimentos

que eles têm e que faça isso ser efetivo de modo que não crie distorções para você produzir o cidadão crítico que vai ter condição de opinar depois sobre alguma coisa. Então, eu acho que mais do que lista, do que dar lista, do que não dar, é como dar. É como dar e se o que foi dado é efetivo em criar as efetivas ligações com aquilo que rola dentre as diferentes frentes da Biologia e aquilo que rola aí fora. Como conectar isso. Então, essa é a minha mensagem sumária de tudo o que eu falei para você.

## **PE1**

((Ao chegar na sala a professora já entregou à entrevistadora algumas folhas de papel dizendo que lá estavam os conhecimentos que julgava importante os alunos aprenderem, e os quais ensinava em sua escola. Esse conjunto de conhecimentos foi escolhido por professores de todo o distrito de Kalamazoo. Note, que distrito, neste caso, tem uma abrangência menor do que cidade. Portanto, o distrito de Kalamazoo é um dos distritos da cidade de Kalamazoo))

(00:00:16) E: You gave me some contents here that you think that are important, and I would like to know why do you think that it's essential to students in High School know this content.

(00:00:48) PE1: Well the first point is that we have to give a standardized test that all students have to take and so this is for one thing state tells us what's important and that part has been taken (not apart hence). That's not much. Now, do I think what they told us is important? I think we've selected from this extensive list of things the state has told us, is what we have genes to be most important. In terms of the selection process it's what's gene to be most important for students to truly understand how traits get inherited and how they get passed from one organism to another and how they are interpreted how gene expression works so that's the basic idea.

(00:02:16) E: So you said that it's important for the test. Do you think that there are other reasons for them to learn it at High School?

(00:02:34) PE1: Well do you mean for learning genetics stuff or...?

(00:02:44) E: These contents.

(00:02:45) PE1: Well yeah I said that that's the most important stuff that what is important for them to understand how genes get passed to one organism to another.

(00:03:00) E: I don't know if I expressed well. I would like to know why it's important for them to know it. Why is it important for them to know exactly it: how genes are passed?

(00:03:17) PE1: So you're saying: "why do they need to know this?"

(00:03:18) E: Yes. Right.

(00:03:19) PE1: Ok. They need to know it because they're living it, they're going to have children on their around, they see what goes on around them. So it's important that they have an understanding of what is happening so, you know, if they have experienced a genetic disorder or know somebody who has experienced a genetic disorder they have basic understanding of what they're talking about. You know, where did they come from. They go to the doctor and the doctor tells them "when do you have a family history of..." they'll understand why that's important. So, you know, it is part of their everyday life even though they might not know (00:04:00) that yet.

(00:04:07) E: You said that all the schools of Kalamazoo teach the same contents and that all the teachers helped to construct this. When all the teachers decided to construct it what influenced them? When they were thinking about constructing it where did the ideas come from? Did they use any material to help them? Were they supported by any content expectation? (00:05:00) What kind of things..."

(00:05:04) PE1: Well, again, first we started with the state standard, that's the only place we can start; we don't have any other choice because of the standardized test that every junior has to take. So we started with the state standard from there we go by experience, everybody talking together we determined how far or how close are we to what the state says we need to be. In terms of, like, resources, things like that, it's mostly we are that pulling from our own experiences. Teaching the subject where we know the kids have problems or misconceptions, what things we know work best with students. (00:06:00) To design our curriculum we use the understanding by design model, to design it. So there's some very specific thing they go through. You have to identify the big ideas, what are the big overall ideas, what are the enduring understandings, the things that you want them to remember for years from now rather than forgetting after they walk out of class, things such as that. So we had to sit down, we had to talk about those and deal with that. And then from there then we put in all the vocabulary, what the kids are going to have to be able to do in order to get to those understandings. It's an involved process.

(00:06:55) E: Have you decided it in a meeting or in a lot of meetings..?

(00:07:05) PE1: That curriculum took us two years.

## **PE2**

(00:01:23) PE2: I think to start with your students, even the first year students, 9<sup>th</sup> grade, everyone needs to know what is a gene, where it comes from, from Mendel's research, how we started with peas, how we get to the complex of a DNA in Human Genome Project. How we really come to understand all living things and what they are made of is beyond importance for students. We teach Mendel, alleles, all that kind of basic independent sort of segregation, we are going on to a DNA level, a gene, what makes a gene, mutations, alterations, all these kinds of almost, we ... I think we really try here at our school to show students who they are and who the person next to them is and the grass outside and the fact that we have this commonality of our genetic make-up. That, on a basic level our DNA are very very similar and yet just small changes in very simple structure of sugar, phosphate and base, very small changes creates this diversity of life (00:02:25) and then leads to evolution, and leads to change over time, leads the whole world of living, all the living world, and we try to stress that, making the connection between things that we never will be able see on naked eye and control everything about us, shyness, height, and we have to try to make that connection to this critical, what we are made up of and what are the results. I don't know, did I answer your question?

(00:02:52) E: Yes, I think maybe there is a large umbrella and maybe there must be more specific content under it. I know that the knowledge about Genetics is growing fast, scientists are discovering new thing and they are using the scientific knowledge about Genetics for different, so I'd like you to help me with what is really important for them to know, because there are so many things. What's really important for them to become critical citizens.

(00:04:12) PE2: The main thing is to know the structure of the DNA and on an DNA what really makes up a gene, and how genes are expressed to make up living things. What is the DNA? What makes up a gene and how those genes create everything that is alive on earth. I think all students have to understand how the expression of the protein building, the whole idea of going from your DNA and your genes until the expression of living things. That's what I really understanding. Because were has the powder of this, we know that they have such

amazing things, that we do not know all the university bold and give us a connection to everything and that's critical, I think, for students to grasp that everything that is alive has the same genes and DNA components, and understanding what those are, what they really look like and how they are expressed is critical. (00:05:18) In the upper classes we go into electrophoresis, PCR, we do a lot more manipulation of genes and DNA which is really great but I don't think every person needs to be able to understand PCR and electrophoresis and that kind of genetic testing. But I think students should understand and be able to know specially daily like you said... (explore) DNA in the world, that really opens up the doors to us. What we understand of a DNA today will be different in five years from now. The constant growing in research areas are immense and I think that if students do that, it is really helping to encourage to explore Science DNA Genetics as careers ... It has a lot of potencial.

(...)

(00:11:54) E: Ok. So, you told me that it is not necessary that they learn about the techniques and that all the students know the techniques about PCR and other things. But all the students must learn about what is cloning, about...

(00:12:24) PE2: Genetic Engineering, cloning, how we are using gene therapy to treat diseases, we focus on all those.

(00:12:33) E: So you think it's important to have a notion of it but not to know the techniques, is it?

(00:12:40) PE2: Interesting...Yes. Essentially for the ninth grades I think they need to understand how we are using Genetic Engineering, what we are using it for, but the technique, they aren't quite ready to grasp it, they are fourteen-year-old, I don't think they can really visualize conceptually how you have the transgenic factors, how all that stuff works. I don't think that they are quite there but advanced students, the eighteen-year-olds, they now (may wanna) learn it but they are interested in on line. We do with a lot with the AP students, I mean we start with basic for Fly Labs and high school analysis, basic transgenic stuff but the on line simulations for some of the techniques are amazing and they really enjoy learning about how we do it because the process is becoming more and more simple. We do strawberry DNA extraction. (00:13:29) You can do it almost with the dishes. So you can do amazing things with them know. So, the older they are I think the more able they are to grasp the social consequences of our understanding of DNA. The younger ones, they are still worried about

what's for dinner, they are not quite at that point that they can totally grasp the importance of gene.

(00:13:51) E: And do you think that the fourteen-year-olds are able to learn what is cloning and gene therapy without learning the techniques? Do you think it's easy or difficult for them?

(00:14:20) PE2: It is a good question. I think they've heard of gene therapy before, they've heard of Genetic Engineering, so they are familiar with the terms, they are familiar a little bit with what they do. Once they certain understand what a DNA is composed, of how it can start to control, they are able to make a little bit (some) pieces and make more sense of it. I just don't know, we just really don't have the time in the school year to have them do most of the actual hands-on (upper level Genetics), we don't have the finances because some of those labs are incredibly expensive to run for the ninth grades. But they getting it and they will, hopefully, when they take advanced courses, get even more, and be able to dive deeper. But the fourteen-year-olds, I think, be familiar with the basics, you know, what they really mean, what are we really researching, how we are able do it is enough, more than the hands on part of that.

(00:15:17) E: That's it. Would you like to complement with something?

(00:15:34) PE2: Interesting. At the school our students are pretty smart for the most part they grasp it. I do think though there are always a few students to have a really hard time understanding (00:15:49) How something so non-seeable... You can't look in your skin and see DNA, how something like that can control an entire living world. So, I think for most students, they grasp it, they can understand it, they can make the connections from the DNA to the expressions but there are some students where... I don't know... I mean if you really almost (bring it hard) but I don't know if they ever really truly grasp how DNA and Genetics are changing and how they (roll in) the world ..., we try so hard...

(00:16:28) Do you have everything you need?

(00:16:31) Yes (...)

### PE3

(00:00:40) PE3: I went through this last Friday when I read your e-mail and I wrote down some from the Michigan's standards and curriculums. So they are the points that we went over when we did in the genetic unit this past, ummm...it was really this period; it's for the semester. Some of the main important ones like the title ones that I got the most important for students specially the ones I'm dealing with and this particular setting for "Genetics and Inherit Traits", it is people ...I want, I don't know, here, knowledgeable in the Michigan's standards curriculum, in the framework. ((mostra uma folha com os conteúdos selecionados com base no Michigan Merit Curriculum, os quais considera básico)).

(...) ((PE3 apresenta o documento e explica que selecionou apenas aqueles que achou importante))

(00:02:20) PE3: So the topics that are the most important are "Genetics and Inherit Traits", the "basic understanding of DNA structure and function", "Cell Divisions", mitosis, more emphasis on meiosis at least at our great grade levels, I hope they'd have a little bit of that previous background knowledge before coming to my class and then we get into a little bit of "Genetic Variation" at the end. One of the most important things that we want students to know is for "Genetic and Inherit Traits" as we want them to know and understand how they developed their own physical traits and why they have what they do have . When we go into DNA a big thing that we talk about there is ...basic understanding of DNA, we don't go into too much, we do go into the structure and a little bit of replication for the most part (...) mutation, the effect of radiation and toxic chemicals on the DNA structure and what the possible results, it would be enough. (00:03:21) So, that they can kind of be aware of, if they were receiving radiation, if they have to have an MRI ((Magnetic Resonance Imaging)) or X-ray there are things that they have to be aware of, what they are exposing themselves to actually in society. And then, with meiosis we just would like to talk a little about genetic recombination, the genetic variation so that they understand why we don't all look alike, that we have different alleles, we have different varieties because of that. ((entregou uma folha onde havia registrado todos os conteúdos que considera importantes)) (...) (00:04:20) We probably spend maybe 3 weeks of the entire semester in Genetics. So, it is an important unit (...).

(00:04:38) E: My preoccupation is that we have so much content for high school students and it is impossible to teach them everything about Genetics and it is because of this that I'm researching what are the most important things?

(00:05:00) PE3: I mean, we didn't get too much, I mean, we did go into a little bit of replication of DNA but not too much, even with the protein syntheses they have a basic understanding but I didn't go too deep and too detailed, specially in our setting it would go right over. So, I really wanna basically move in on the key points of State curriculum, that they are setting right now but I also wanna make them more relevant to them in their situation.

(00:05:30) E: As I understood teachers are obliged to fit their classes into the statements do you think that if it was different, if you could change something from the statements, would you like to change something that you think it is important for your students? (...)

(00:06:30) PE3: I thought that with the guideline so far in the State of Michigan for Genetics it seems to be pretty fair and accurate. The only thing that I struggle teaching my students particularly to speak as a segment like recombinant DNA technology and how scientists analyze the structure and the functions of DNA, I get more into that and I start going into the theory and it is just recommended, and there are not actually like a (sense) on you have to do them. It's just completely over their head, we get into a little bit with transcription, translation and protein and RNA they are so just kind of what... (00:07:24) I know exposing it to them is the first part because if they wanna continue down path they will repeat the exposure and that is really gonna help them store into memory. Some of the stuff just feels like it is almost too much for the age level that we are trying to teach.

(00:07:43) E: So, if I understood, you think that for high school students, specially the high school students that you are teaching, you think that maybe Biotechnology and micro...

(00:08:13) PE3 More yeah...like the recombinant DNA one, I mean, these are just recommended but this is where like I can get into and this is something that just gonna go right over my kids head. It's hard enough getting them to understand the DNA replication, the RNA synthesis, to even get there. They do pretty well in Punnett squares, they understand mitosis and meiosis, they can conceptualize that, they certain understand why they have certain features and then can come up with the percentage of what would occur. And with the DNA, they can line up like the A-T and...you know... the brackets in the "backbone" of it (...) when we start into that proteins synthesis, it's hard for them to understand what goes where and by the time I get done with that they have no desire to go into this. (00:09:06) Genetic variation they are also pretty much ok with. They struggle a little bit with the way that chromosomes will like overlap, and then pull apart, and one leg from one will go to the

other, and one leg from the other leg will go the opposite way ((*descrevendo o processo de crossing over*)). They don't fully conceptualize that so we end up spending more time with certain areas so we struggle getting towards the final part portions of the requirements for the Michigan standards and curriculum. So most of that, I mean... this is the one that I completely don't get to and when I do I cover it so briefly that I am done.

(00:09:47) E: So, how could you summarize why you think these contents are important for students to become critical citizens?

(00:10:02) PE3: For all this that I gave right there, I feel that that part of Genetics actually can apply to their life. They can see that in the things they do. When they become parents themselves and when they have children they can understand why their own children have the traits that they do. Also being aware of some of the radiation and the chemical factors out there that can mutate their DNA and cause problems, and maybe avoiding them or just having that knowledge and awareness of what can actually happen and cause , you know, certain cancers or diseases. Also I want them to have a basic knowledge of some genetic diseases just in case their own children have and they don't know what kind of help they need or where they can go to receive the help to take care of the kid. This is more the basic stuff to kind of get them for survival. Obviously most of these kids are not gonna out and become scientists or working in the fields of Genetics. I just want them to have a basic understanding so that they can apply certain things.

(...)

#### **PE4**

(00:00:30) PE4: I guess it's hard to answer that with just one answer because students are gonna go so many different ways when they leave High School, you know, if there is gonna be College-bound Students who are going to Biology I think that they need more than what we're giving them right now. If they're gonna be done with Biology after me than I think that they need a different amount. So I think right now, personally what we're (00:01:00) covering is basically how does DNA replicate, how does the cell replicate, how are your traits passed on from mom and dad to you and how does that make you "you". And I think for most

students right now that's about where we need to be, so they can understand critical issues like stem cell research and cloning, so they can understand what's actually happening with all of this issue because they need to vote on them and they need understand, you know, the different aspects from the scientists to the critical people, you know, so they need to have the basic understanding. (00:01:41) I also think that as a general citizen they need to understand that when they're having their own kids and the doctor says "Do you want this genetic test?" they understand why and what they're looking for, so they have a better understanding of the processes and they don't get so scared or worried when the doctor says "Let's do these genetic tests."...

(00:02:05) E: Ok. If you want to continue, you can continue.

(00:02:11) PE4: Well, I think...has that answered your question?

(00:02:14) E: Yeah. So you said about DNA replication, how the DNA passes from the parents to the kids, from generation to generation and you said that it's important for them to understand it because they need to understand the genetic tests, the political issues, I think that's it, or not?

(00:02:59) PE4: I think I am teaching that, I think I do hit that well enough if students understand when we talk and when we debate about stem cell issue, when we talked about cloning. One thing I think that I need to try to bring into biology class better is how the heredity works more so like when they go to the doctor and they say "Oh, well you showed that you have a trait for some genetic disorder or some disease that can be passed on through genes." I think I need to have them understand that aspect better so they know the risks of having kids and they can be prepared as to what problems might occur and what are the probabilities, so they understand and they know the questions they would need to ask.

(00:03:51) E: So do you think that Biotechnology is important? You said about cloning...

(00:04:00) PE4: I think it's very important. I think as they learn more and more about DNA and being able to determine traits for people, I think we're headed to the point on that doctors could build your baby, I mean they could say "You want a blond hair, blue eyes, black skin and..." you know...and make that. And I think they need to understand the pros of that and the cons of that because we need diversity we can't all decide what do we wanna have and so I think that they need to realize that even when we may get that technology is it really simply (new what we) want to implement. Does that...?

(00:04:33) E: Ok. So, what kind of Biotechnology do you think that it's important to teach to students? You said cloning, I don't know if you think that there's something more that is important.

(00:04:53) PE4: I think that... You know I don't believe teach ones... I guess this is a hard answer because (00:05:00) I am not a true biology teacher. I teach it but I don't have a major in it.

(00:05:04) E: Ok, don't worry.

(00:05:06) PE4: So the major issues that are coming up or the major things in Biotechnology I'm not probably honest as well as I should I need to spend more time giving them that. I think that you can't really say one is more important than another because they're all going to impact us in some way and I want them to have a basic knowledge of what all of these different things are or at least be up to strap the knowledge I give them to apply it in other areas. Has that answered?

(00:05:33) E: Yeah...

(00:05:35) PE4: It's, you know, I mean they think that cloning isn't important if the kids understand that if they start cloning the best cows and the best pears, the best... you know... potatoes, and the best corn that's gonna bring down our diversity and then things aren't gonna be as resistant to, you know, new trends of bacterias and viruses and that we (can just totally know about that) huge population's species because we're deciding what should exist.

(...)

## **PE5**

(00:01:07) PE5: Just kind of things that we teach, we just actually get done with that so we teach... basically we get started with Mendel and the ideas of dominance and recessiveness just basic ideas. And then we talk about the differences between the three types because we have co-dominance, simple-dominance and incomplete dominance. ((Breve interrupção de alunos))

(00:02:00) PE5:: Do you get these things?

(00:19:03) E: So Mendel, the basic idea...

(00:02:10) PE5: Basic ideas for dominance recessiveness so, ahn...and after that we can go to different types that we have and we definitely learn the Punnett squares and then we even take a step further as far as going from those Punnett squares and figuring out ratios of what are the chances of finding somebody in America who is type A marrying someone who is type B and having a kid who might be type O. (00:02:46). Ok? So, I figure out ratios dealing with that also. And I think the point specially in a Christian school is that we learn all the basic of this first and then we go into a kind of discussion, we have a two day and a half discussion about what does all this have to do with us. So then we take a step farther and talk about cloning, should we, shouldn't we, we do a whole section with bioethics, (we call it).

(00:03:22) E: So, in these sections about bioethics you include cloning...

(00:03:27) PE5: We do very tiny that with cloning. More so ... like physical alterations, with diseases, that sort of thing. We talk a lot about where you draw the line, what should we be able to do, as humans. We can change a disease that can cause death, most of the kids would say 'yes, you bet'. Then we get into what about disease like Down Syndrome which doesn't cause death but certainly cause a different lifestyle and a lot of the kids said "Yes" and a lot of kids said "No" in the debate about that. And then we want show (...) saying what about eye color and hair color and picking what they want their kid to be, smarter or taller, because a lot of kids will have the answer for those questions soon because there is a lot of this stuff that is covered in the forefront now.

(00:04:25) E: Do you usually teach this content?

(00:04:34) PE5: Yes, I do.

(00:04:35) E: And do you think that this is the main content that students must know? If you could, would you change anything? I don't know if you have to follow any school rules, any content.

(00:04:58) PE5: Yeah. That is kind of what is nice of been at a private school like this is that we tend to follow almost everything that the state of Michigan requires and a lot of times I think that we go above and beyond that. We can take that second step. We teach the basic they are supposed to know, that the state of Michigan says they are supposed to know but then we can take a step farther, we can have a discussion about it. We can say what is right, what is wrong, where can you draw the line. And kind of give them the opportunity of asking questions too.

(00:05:29) E: So... they are the ones that you think that are important...

(00:05:37) P05: Oh Yeah! Yeah.

(00:05:38) E:...for the students.

(00:05:40) P05: Definitely

(00:05:41) Ok. And do you think that there are others you would like to say?...Something that you think that it is important to them?

(00:06:17) PE5: I do it in two different levels because I have sophomores in regular Biology that is pretty much kind of the very minimum. This is what it is. And then we do take a step farther with the AP, which is the Advanced Placement Biology and we go quite a bit more in depth with that.

(00:06:35) E: So, are there two courses?

(00:06:42) PE5: Yes. I teach in two different times. One is sophomore, so tenth grade which are 15/16 year-olds and then the other one is with seniors and it is called advanced placement which is basically a college class for high scholars.

(00:06:55) E: Is the second class required for all students or not?

(00:07:02) PE5: No, it is not required. But if you take it then you take a standardized test after it and if you do well in the test then you do college credit in High School already. So we have this a quite bit more in-depth in detail.

(00:07:15) E: For me it is more important to know about the first ([course] because it is for everybody and when you think about it you think about what everybody must know.

(00:07:20) PE5: The first, that is a kind what we talked about it in anyway).

(00:07:35) E: And, do you enter in Molecular Biology when you are explaining about it?

(00:07:48) PE5: Yes, we do a little bit of that. Not a whole lot, what do you mean with Biomolecular? Like DNA and RNA and going a step farther?

(00:08:01) E: And do you teach transcription...

(00:08:09) PE5: Transcription, translation, protein syntheses, yes, yeah. You got it, that is a definite.

(00:08:15) E: And do you think it is essential for high school students or isn't it essential for them?

(00:08:26) PE5: I would say it is one of the most important things we teach, that's one thing that I would never skip is definitely protein syntheses, DNA, RNA, you know, specially the ethics part too because if you look through all of Biology what's the thing that's stepping out

right now is that, that's the stuff that's becoming more and more important and I think that specially now more, so even ten years ago this is becoming more important.

(00:08:55) E: So, when you are teaching about bioethics you include some Biotechnology topics. Do you think that biotechnological topics are important to be taught in High School?

(00:09:19) PE5: Yes, especially for this grade level. I didn't, you know, I've been teaching for about ten years and I haven't taught up to this extent until the last previous three or four years just because we keep hearing more and more about that. And I think that for the kids to understand stuff is important not just to know it, but it's important because this is the stuff they're gonna be facing, they are gonna have kids in ten, fifteen years and these are the issues that are going to be happening, we (call) pretty much everything, (but) human so far... you know... and we are getting to the point where diseases are gonna be, even to be stopped and you can go inside and decide if you want your baby to be born with that blue eyes... I mean these are decisions they are gonna have to make in their lives so they'd better be informed about them.

## **PE6**

(00:00:30) PE6: Well, first of all I think that high school students need to know about... We need to start off with something that they are more familiar with. Like, for example: a lot of teenagers having sex. So when it comes to teaching Genetics we can start off with the DNA: "Why is it that we have sex?", "Why is it that we reproduce?" "How does reproduction occur?" and then so we can start off with just the simple main effect of sperm, what the sperm egg is like, what the female egg is like. I think that it's just really important when it comes to teaching Genetics first capturing students attention on what they're doing and what's happening when they are doing that. (00:01:41) Then from them we can talk about DNA and we can go into the exchange of DNA from the sperm itself to the egg, we can look at what causes certain genetic diseases, some students don't understand why some people might have certain genetic disabilities and from that approach showing them that it wasn't their fault it's just because of the orientation of our genes. I think that would be those things also really important things that students need to know about. Something else that they need to know

about is how other organisms transfer their DNA to one another, how their gene transfer occurs. I think sometimes students think... when we teach as teachers... sometimes they only think of us all humans and they don't realize that other organisms are made in different ways and that's a really crucial piece that teachers need to share with high school students. That not all organisms have a penis and a vagina. It's completely different now the end and they make it for different reasons. (00:03:23) Because all young people think it's about having pleasure, when it comes other organisms it's not always about pleasure it's just about the transfer of genetic material. I think that's an important complement for them to understand, to not just see (us as a race) but to see other organisms also carrying out the same processes that we are but with different purposes in mind. What else for then comes to Genetics...The research piece in order to even know about what DNA looks like, in order first to even understand what genes are like. (00:04:20) You need to do research it's not a textbook process it's a hands-on process and I think high school students need to know that in order to find information, in order to acquire information about Genetics it's not necessarily reading that, it is about thinking it, and "Can I discover it?". You know, taking their plant and observing it and this stuff we do in the lab, that's how we acquire this information and I think that's an important knowledge to share with students because sometimes students don't like the lab activities. Some don't, some do, and sometimes they just see it as a fun activity but it really is a discovery activity, it's an activity that informs them about how things work how things occur and that's another important complement that high school students need to be brought, need to be informed about. (00:05:38) Of course the scientific method that is how we go about finding out. And I think that's a piece that most science teachers need to teach high school students. That fundamental step of discovery is based on a scientific method, you observe something, you ask a question and then you go out to find out "how can I find the answers to my own questions?" You come up with the way how you can discover it. Maybe someone has already answered your question and these are things that we need to teach them; that knowledge, it's not only what you have discovered but someone might have answered you a question already and to go out and find that person who has already answered your question because sometimes high school students, when you say "research", they get a little discouraged and that they have to make up something themselves, they have to come up with it, they have to be original. (00:06:59) Now being original, there's nothing wrong with being original, but what is good for them to understand or not is that someone might have answered

your question already and they might have done it through some experiments that maybe you can repeat yourself. So those are somethings that I think that are really important. That we start off with teaching kids that, you know, when you have sex that's a genetic process, you know, the transfer of genes, "What's up with those genes?", "What are those genes for?", "Why are we transferring genes?", "What happens when genes are transferred?" That's information being transferred there, how is that going to look? When those genes are transferred from father, from mother to child how is it going to look like? That's fundamental that it does have a look, it does have a phenotype. "How do you really know about genes?" "How the researchers, how the scientists first discovered?" "What did they do?" The scientific method. Something as fundamental as that still being in practice today.

(00:08:30) E: So you're telling me about the reproduction, about the association of the DNA with the reproduction and also about the research piece, how we discover things about DNA and things like these. To summarize why do you think that it's important to teach it to them?

(00:09:10) PE6: It's important because it helps them grasp the concept of why they look, the way they look, why they behave the way they behave; "Why do you look like your mother?"; "Why do you look like your father?"; "Why don't you look like another organism?". Ok? When your appearance came together you did not come up looking like a plant and there's a reason for that. And so teaching them that the laws of Genetics, that when two organisms come together they can only produce their kind, they don't produce something other than. So I think that's really an important piece that needs to be taught to high school students.

(00:10:12) E: Would you like to complement it with something more? Anything else that you find important? Is that the basic for them to learn at the high school level?

(00:10:16) PE6: I think there's a complement there for teachers. Teachers need to really embrace because Genetics is not an easy subject to teach, when you're teaching Genetics it can be boring. Even just to conduct experiments in the classroom it's difficult to illustrate it, I mean of course you can show videos. So teachers have to be really creative in the way they present it, so that students can think like a geneticist, put things together, so when this person has this disease that means that it's genetic. These are the kind of questions we want from students, so to teach as teachers we have to really create the right atmosphere so that we can have students asking questions on a genetic level that they might have, they might have about maybe someone in their community, always that person might have some sort of genetic disease or something but they don't know why. And by just creating the right environment,

giving them the right information, giving them the right exposure to that information we can stimulate the right genetic questions.

(00:12:05) E: I interviewed other teachers and professors here and in Brazil and sometimes they agree or disagree on teaching Biotechnology, about Biotechnology we use involving Genetics: cloning, PCR, genetic therapy, genetic modified foods. Sometimes they agree, sometimes they don't agree on teaching it, depending on the professor, depending on the teacher. What do you think about it?

(00:13:14) PE6: I think it needs to be told, high school students have the ability to understand them, just the fundamental is that when it comes to PCR or that stuff of the methodology, we don't have to go into the methodology because that's a little bit deep. I think it would be better for them to learn that when they get to college. But I think certain fundamentals that we can teach them is that because of the Science of Genetics we can clone. Just to teach the concept of what cloning is: just to duplicate something, we can teach that. We can talk about gene therapy as a way of how scientists are using it and its advantages; we can really talk about those applications. But exactly how they go about doing that we don't necessarily have to go into that detail, unless the students want to know about it and then you take them to that level, but just the fundamental of manufacturing the food, I think they need to know about.

(00:14:42) E: These teachers that told me they disagree on it, they told me that students have difficulties to understand Genetics so it's better to stay in the basic contents about Mendel laws, about basic things about Genetics than go to Biotechnology, students will be confused and won't learn anything because it's so much content. What do you think about this opinion?

(00:15:34) PE6: I like that opinion, I like the idea in just staying with the basic. The basic is fundamental, the basic is the foundation. If the students don't get the basic of what Genetics is about and going into Biotechnology can be a challenge. If they don't understand what a gene is, when I say a "gene" I mean: "Can they picture gene?", "Can they draw a gene?", "Can they conceive it?" If they don't get that fundamental: "the genes are found on DNA" then for me to introduce the biotech that they might be entertained. And so I do agree with that thinking. But then again there are different students and depending on the type of students that you have, if you have students that really... If as a teacher you believe they're prepared to learn a little bit about the Biotechnology than I believe as a teacher you should take them there. But the most important that should be covered it's just the basics on Genetics. The whole fundamental of what Mendel did, I think it's excellent, I think it's really simple

Genetics, it's Genetics that you can practice at home, what you're getting it's fundamental Genetics no (higher stuff).

(00:17:29) E: So, I don't know if you would like to complement something..?

(00:17:35) PE6: No, I think we have covered a lot. I don't see anything else that needs to be mentioned. Those are some really important things that can benefit high school students when it comes to Genetics.

(...)

(00:23:14) E: And about transfer, transcriptions. (...) Do you think that it's important?

(00:24:04) PE6: Yes. To teach transcription is followed by translation. And we end up with protein synthesis. Because I think that's important for students to realize that we have a gene and how do we get proteins, sometimes I bring it up in class: you drink milk and you need a certain protein to bring down that milk. "How does that happen?", "What is your body doing as soon as you drink that milk?", "What is going on?" and so that piece needs to be talked about and introduced in that, just make it simply said: that's what happen transcription, translation, protein synthesis and then you get into a little bit of details and you have to just work it as a teacher showing them that to the next time they drink some milk something is going to go off in the brain. Transcription is occurring right now even as we speak.

(00:25:28) E: Yeah, well, I think that is it.

(...)

## **DE1**

(00:00:37) DE1: I think there are basically four... you can insert Genetics as been four different areas. You can insert it as been a molecular aspect which is how a DNA looks like, how is DNA replicated, how you get gene expression, so you have transcription, translation, control of production proteins, how our mutation occur, what is a mutation, what are alleles, that kind of thing. You can have a Transmission Genetics which is basically how our traits inherited really. Also is how our genes inherited. So there is a molecular aspect of inheritance and that is pretty straight forward because it really does not change how the DNA typically behaves. But how you inherit traits is to me very complex because it is the interaction of

interaction of the genes that will give you your traits. (00:02:09) You can also have something called Population Genetics which is the study of the frequency of different alleles for different genes of a population. And you can have the study of Quantitative Genetics which is basically how to multiple genes interact to control traits in a population. I think all four areas are important but the depth of knowledge for each area I would consider to be different. I would consider Quantitative Genetics to be not very important in terms of its depth. I would not say that it is not an important subject but more that the students should have at least a conceptual understanding that many traits in a population are controlled by many different genes and that it is the way that these genes interact to for the trait to appear. (00:03:22) Some traits, that is true, some traits, it is, you know, more straight forward that only one gene can control the whole trait, a lot of traits that is not true. Population Genetics is similar to that where you have an understanding that the frequencies of different alleles for a gene can change over time for a variety of reasons some of which are accidental and some of which can be basically evolution and some will be stable and why... how you study the diversity in a population. Still that is some of the superficial understanding as far as I am concerned is what they need, basically what I have just said is what they need to know. (00:04:21) For the other two probably a little more in depth understanding I think would be essential. For Transmission Genetics particularly just how physically you inherit DNA, the physical process and calculating the probability of obtaining a particular gene or piece of DNA from a parent is very important, very simple, it does not change. Why is it important? It is important from the aspect of understanding, particularly for people that have genetic disease or syndrome in their family, probabilities of passing for their children or having inherited from their mother or father. (00:05:21) So, that is for Transmission Genetics and understanding the most traits again like in Quantitative Genetics really are a lot of times controlled by a single gene or maybe multiple genes and for you to get a trait you may need the interaction of different alleles of those multiple genes but that will lead to understand some about the probability of that. (00:05:50) So the molecular side, again it should be probably more in depth and probably should understand something involving the structure of a DNA maybe not be able to physically draw a DNA allele but understand that it is made up of four bases, mutation occur by a variety of mechanism, how mutations occur because they will face that in their lifetimes trying to evaluate certain chemicals that people are trying to sell you or a company is trying to put into the environment, damages in DNA, probably understand what that really means and

what mutations can link to cancer, other diseases and so that is basically trying to understand what they may face in their lives as they go along. I guess that is the way I look at it...

(00:07:05) E: About Biotechnology, do you also think it is important?

(00:07:16) DE1 Yes, I don't... I guess (that I) put that out. Biotechnology and understanding Biotechnology is important. Typically when I teach a course I don't really teach a separate section on Biotechnology trying to incorporate some of that into these four different areas. So if I'm talking about mutations, for example, I'll talk about ways that the mutations may be detected. (00:07:51) So, if you're talking about things such as how do you go about detecting every abnormalities in the fetus, you can do amniocentesis and chorionic villus sampling would be an for example, and cariotype analysis... and... you know... what level of detection is that and cross chromosomes abnormalities. If you are looking for a single gene mutation you can do PCR, southern blotting, or restriction enzymes. But I try to incorporate that kind of knowledge into the four of the other things I was talking about.

(00:08:30) E: I am questioning that because it is a polemic topic in my research because some professors think it is important, some don't. Then, you think it is important, right?

(00:08:50) DE1: uhum. I think it is important. I don't, for a high school student to go out and perform Biotechnology. I think that wouldn't be important. But I understand, some aspects yes, I would say it is very important.

(00:09:15) E: And you receive here students from High School, do you think that they know this knowledge, the Molecular Biology, Biotechnology. Are they able to learn this knowledge at High School?

(00:09:45) DE1: That's a good question. I'll give the answer but it is based on my ignorance because I never really tried to find out how much they know. I get students that are at least at the sophomore level ((segundo ano)). So they have supposedly according to the course requirements already have had the course for some of that material should have be covered. So, to really know how much they are getting in High School I can't really accurately address. I would say just in general that my feeling is that they don't really know, even after having had a college experience. I'm not blaming my colleagues for what they teach, I don't think it is necessary. Every time you ask students if they have seen a certain material before they'll tell you NO. But I've talked to my colleagues I assume that they are not going to lie, and in fact they have presented the stuff. (00:11:12) (...) I would say Biotechnology is kind of important to teach, if you go read the newspaper, go read general news magazines they talk

about it. It is not something that they won't encounter, it is out there. The question is if they understand what is being presented to them.

## DE2

(00:0:40) DE2: I've been trying to think of this because I haven't really asked myself that question ever before. You think of all the things they have to know but you never think why just Genetics. I guess for me what they need to know, or maybe I'd rather say, what I don't see them getting and I would like to see them come to me already with is a better understanding of what a gene is. They have this felling... a piece of DNA, this DNA is important, it makes protein but that's a used to be about the limit of what they understand. Most of my class, they need to have a better understanding of what a gene is. (00:01:37) So, that there is a promoter. What is a promoter for? Why is it there? Not just turning it on but some regulation stuff. So, when they get that and really have it at the core of themselves when they come into my class makes my teaching so much easier because they're not lost in DNA, proteins, what's the connection, they're not lost necessarily in that piece so we can talk about deeper subjects and also prepare them for the other courses coming down the line which could then talk about deeper things. It seems like I've spent so much of my time teaching them what I think they should already have learned in High School. So, a better understanding of what a gene is. They seem to have a good understanding of Genetics, they know about Mendel, they know about Punnett square, they have done those types of crosses, but they haven't made the leap from... Mendel was what? 16<sup>th</sup> century or something like that, to now, we do know about, it has gotten back to High School a lot more focus on the DNA side of things as opposed to phenotype and genotype and heredity, I guess that's what I'm trying to say; sort of *Mendelian* Genetics versus "modern-day" Genetics. (00:03:07) I think they have to understand both but it seems like there is a focus on Mendelian's side of things and the loss of other pieces that are just as critical. For me, if they just had a better sense of what a gene was, and I don't know how else to say it beyond that, such that when they come into class we can talk about the gene, we can talk about development and how it is regulated... I mean, I'd spend almost two weeks now just getting the point where we can...could talk about it, but we

never get to it because it is always either too difficult or too late in the semester and there isn't enough time to talk about it. So if I didn't have to do ((teach/cover)) all that stuff in ((from)) the past, and re-teaching it, it would be definitely helpful.

(00:04:06) E: So, it is not easy for them to learn Molecular Biology in High School.

(00:04:16) DE2: Right.

(00:04:17) E: What about Biotechnology, do you think it's important to them to learn it at High School? Because we always have a new knowledge in Genetics, a new application. Is it important to them to know about Biotechnology? And if so, what is important?

(00:04:56) DE2: Yes, I think it is important but a lot of classes that teach the technology and even in my own lab we talk about technology and for it we were focusing on the technology as opposed to answering the question that you are trying to solve with the technology and I think too much attention is paid to the technology instead of talking about the real questions that are going to be solved with the technology. That's just a means to the end, it is not about the technology. Now I understand that technology sometimes interest students that only way that they really keep them engaged and I'm not about using that for that reason. (00:05:38) But I think we lose at the same time, „some of that we were trying to get to know. One of the things... Genetics is such an abstract thing and students have a hard time thinking abstractedly, even if high schools weren't able to do more in Genetics and more technology and all those things, I think it would be great, but you know, I understand, you know, minimal resources and all of that to do these everythings, I think that help the students learn to think abstractedly, that would be much more beneficial. And then I cross...you know...I just walk in the better abstract (things), could be talking about all these things so much faster, so much more in depth ...because it is the lack of abstract thinking that they haven't learned yet, in my opinion.

(00:06:38) E: Is there a specific topic that can help them think abstractedly?

(00:06:56) DE2: I don't think structure is necessarily that important. For me it's more the abstract understanding of what it is covering. They have a hard time visualizing things. This generation, I don't know if this is the same way in Brazil or not, but definitely here in the US is so visual orientated. It seems to me that they haven't been exposed to good visuals of what is actually happening. They get really bad information, and I feel like that part of what I do is I'm unteaching what they've already learned and help them learn on top of that. (00:07:41) So, there is nothing I think that it is necessary, that they have to know this to understand it.

I'm trying to get them to some higher level of cognitive thinking and goes on and I know it's a hard thing at the level that I'm working with but I don't think they have to understand structure, I think they have to understand mitosis but I think High School do pretty good job of that (00:08:07) I don't get the sense that they are lacking in that part, they are not lacking in certain microscopy skills and they have seen a lot of things but they have the general idea of what it is useful for. And so the Mendelian, that goes along with the mitosis, they generally get some of that stuff. But it's when you start saying the reason to getting this phenotype is because of a gene, that makes a protein, and is on the chromosomes it is where they get lost or I lose many of them, I guess I should say.

(00:08:42) E: I asked you about Biotechnology, and... because Biotechnology and Molecular Biology are polemic in my interviews. Some professors, some teachers think that it's important to teach, some don't. And it's because of this that I would like to know your opinion.

(00:09:21) DE2: I think it's critical myself. Not just because of what I wanna teach or what I want them to learn but because that's how we talk about everything anymore in the world. We are talking about the newest drug, we are talking about, and what does it do? It affects a certain protein in your body that does something. So even when you talk to your doctor you have to have a general concept of what a gene and a protein is, how they function, what that really means to you to understand what your doctor is talking about. I mean otherwise, for just teaching them sort of Mendelian, sort of the old school way of teaching, were not getting them prepared, even if you were not a biologist, just to exist in the world, that's how technology talks about stuff, how business talks about stuff, that's how most of the medical system talks about stuff. It's based on a gene, in a cell and all of that. I think we do this service to that. We don't teach them even the basics there... forget about (what other) biology majors but I'm talking about every person who is out there. (00:10:38).

### **DE3**

(00:00:30) DE3: See, I think Biology and Biomedical Sciences, are growing very very fast, It's almost like Industrial Revolution that we saw seven hundred years ago. It's just even

faster now this kind of revolution in two areas one is in Biology and another one is in Electronics because the technology is moving really really really fast, legal and religious systems cannot keep up with it. So I think that it is just therefore important that students have, you know, some of the very basic things that are happening in the high school level. I think transgenic animals is one of them, I think stem cells is another thing. Cloning both at the DNA level and the organism level which will revolutionize this thing. I saw... you know... transgenic animals are another area. So they should know this because I think they are gonna get in contact every day. (00:01:42) Many times they will have trouble looking at it and they won't understand what it is so it is easy to be afraid of and not go there.

(00:01:53) E: So, they don't know it when they come to university. They have difficulties to understand, is it?

(00:02:04) DE3: A lot of this is issues, yes. But I think this is important, young people should know what these things are, what are the benefits of it, what are the possible harms. This is not technology, you can take any good of technology and can be used for a good purpose and a bad purpose. I think that knowledge is very very essential in high school level not only in the United States but (all other places).

(00:02:34) E: and Molecular Biology also?

(00:02:41) DE3: Molecular Biology is an integral part of everything that I told you. Molecular Biology is a integral part of a cloning, Molecular Biology is a integral part of the transgenic animals, and integral part of everything that I am telling you.

(00:02:56) E: And the Classical Genetics, about Mendel...

(00:03:05) DE3: Classical Genetics, you see, you start with Classical Genetics anyway because the evolution itself is a very important fact. I find Biology much different from Physics Sciences; it is different from chemistry, physics, mathematics, because there are too many basic discoveries in those areas, you know. But in Biology there are only two basic discoveries. Everything else is revolving around it. The first important discovery in Biology of Biomedical Science is evolution and the second one is the structure of the DNA. (00:03:51) Everything else is secondary, those are the two primary discoveries. So once you understand those primary discoveries it probably will be easier for you to look into the secondary discoveries. So, Molecular is not something sitting itself in some place alone, it is really an integral part of Modern Biology.

(00:04:28) E: Is there more specific content that you see as important for students to know?

(00:04:36) DE3: No, because I think they should learn about the Evolution, basic Theory of Evolution, basic structure of DNA, and some of the implications in Modern Biology of that structure of the DNA. So, you know, why we can clone. Probably one day we will be able to clone human beings and we will not need a surrogate mother, but instead, I can take the fertilized egg and then put it into a cow and the cow will give birth to human beings; but so what are the other consequences of that going to be? That's not impossible, because part of that technology we've been using today to save in danger animals and things like this. (...) So I think that at the high school level a good understanding of Evolution and a very good understanding of the structure of the DNA and then its implications. At least the introductory level. And then as I go further they can really understand these things further.

(00:05:56) E: So about the Biotechnology, how much deep must this content be? Do they need to learn about the technical or not? What must they know?

(00:06:29) DE3: I think basic concepts are necessary. Technology continues to be evolving, it is changing. When I got my Phd a lot of technology wasn't there. When you grow up you learn that technology as the technology is coming up. At high school level I don't think technology per se is important that much, but the basic concept is. If somebody is interested in Science at the high school level, you may have to teach them how to learn new things as they come along. Get them really really interested in Science so they will always be excited to learn new things but the new things, if you don't keep up with the new things you don't survive. (00:07:20) The best example is ... in the US and some of the western of the countries, some of the Eastern and African countries where people can't keep up with their technology, you see how behind they are and here we keep up with that don't matter how young or how old we are that something comes up... you know, you have to keep up with technology. But learning technology at the high school level, I don't think that's important. They should have the basic concepts. So as the technology comes they can absorb it and understand it.

(00:07:55) E: Would you like to justify more why these topics you selected are important?

(00:08:20) DE3: No, I think that I said that because encounter technology everyday and if they don't really have an understanding of it at least as an educated person then it will be very very difficult for the whole society to move in that direction.

(00:08:37) E: Well, I think that it is the general question. It is what I need to know. I do not know if want complement with other contents that students should know...

(...)

(00:09:52) DE3: No. About this I said a lot in very few words. (...)

(00:10:55) (...) DE3: The people who are really teaching Genetics courses ((no contexto refere-se aos docentes)) but really in the Modern Biology, Genetics is not separate as far as I know, I know it should be a separate subject but it is integrated in everything, see, I teach Biology and Immunology and without Genetics they cannot understand my lecture, (that's a) basic knowledge. And Genetics is really an approach. See, in Biology we talk about it I don't think technology is important and many of my colleagues may not agree with me because they are technologic oriented. I think what is important in Science is to really ask very quality questions. And then we see how can we answer these questions, at that time we look at technology. (00:11:54) If there is already technology available that can answer some of the questions that we are asking in a laboratory, there is no need to develop a new technology But, because as we are asking more and more questions which present technology cannot answer, so, only then it becomes necessary to come up with a new technology. I don't think that would be necessary at a high school level but we are dealing with a diagnostic level. But technology for technology, as far as I'm concerned, is not important at all. What questions can technology answer? That is important. So, looking at the history of Nobel prizes, with the exception of three or four, Nobel prizes is "share bonds" for the techniques for example PCR, monoclonal antibodies and things like that. (00:12:51) Two or three really I can count on my fingers. Everything else are really the concepts, these are the quality of the questions people are asking and technology was already there to answer them, you have to be innovative. I think for High School people should know that it will not be necessary to remember things because we have computer, hard discs, tape recorders and all this kind of things. I think it's important to develop the analytical liability of the students, and without basic concepts they won't be able to develop that analytical liability.

#### **DE4**

(00:00:34) DE4: I guess I have two thoughts on this, one is what maybe high school students should know, we would like them to know before they come to university. But then I think of

it in a broader aspect, what would a reasonably informed citizen need to know about Genetics for their participating as informed citizens that involve genetic questions. But I suppose that basically it would be nice if people had some idea of Mendelian Genetics and a very simple knowledge that genetic information... (00:01:35) it is fundamentally information and its physical manifestation is in the DNA molecule and half of that information comes from each parent and then when the individuals reproduce that information basically shuffled like a deck of cards and then they can contribute half of each other (offspring). I think that would probably be the most fundamental thing to know details of meiosis and mitosis. I know from experience they are not realistic expectations of high school kids but if they had some knowledge, some of the basic processes and the consequences of that that would be useful. (00:02:32). Thinking about Genetics and DNA, it would be nice if people had some fundamental ideas about transcription and translation and how the information carried in the DNA is read out during the developmental processes (and) turned on and turned off. And then I guess from there we get to more sophisticated concepts. From my point of view, it's useful to understand the distinction between the somatic cells and germ-line and so there are different issues in Biology that arise and thinking about those of, knowing something about somatic cells and development might help inform people about cancer which is something people deal with during their lives. (00:03:42) And then understanding that the germ-line will (turn the cells into) animals, and those cells (decide) earlier and that information in those cell (formed will pass to offspring), and then things that happen in the body that are not inheritable. So, I don't know, that's sort of my thought about what they need to know. Certainly when they come to the university we basically start square along with them, I don't think we can assume any knowledge, some come with reasonable amount of knowledge about Genetics but I think a lot come with misconceptions too. (00:04:33) And... clearing up the misconceptions can be as difficult as teaching things from square one. That's my general thought.

(00:04:50) E: Do you have something to complement?

(00:05:03) DE4: You sent me that e-mail having the question and that is a sort of general area. I could make a long list of details of Genetics I suppose it would be useful for students to know in High School. Certainly if I were teaching Genetics in High School, I would go into much more details on these processes, but automatically I would hope they would remember what I talked about. There is a big difference between what we teach them in some class and

what they remember for an exam, (00:05:46) and what they remember two, three or four years later or certainly much later in their life when they are adults in various walks of life. Well, are you interested in what I think should be taught in High School?

(00:06:05) E: Yeah.

(00:06:05) DE4: Ok, as far as Genetics as well, I guess I would reiterate what I've said, and I would hope that students in High School could outline probably using something like punnett squares, relatively simple crosses so that they understood the homozygosity, heterozygosity, and the (00:06:33) traits where the factors are co-dominant, they could say something about the gamete frequencies from different kinds of individuals, and they could say something about the expected frequencies of genotypes among offspring as well as the phenotypic ratios. I think ... I guess to continue in the theme Mendelian Genetics, I would hope that they would understand the concept of linkage and that there is independent sort of traits on different chromosomes but link traits do not sort independently. I am not sure, I've never taught at High School and I don't remember what I was taught in High School, you can see that was a long time ago. I think it might be a bit abstract to ask them to do chromosome mapping (00:07:33) to look at recombination rates between ( ) and use that to map out positions on chromosomes. I think that's relatively sophisticated probably to expect from high school students. I know dealt with it at the college level but I doubt that I did at high school level... I am trying to think if there is any other sort of basic aspects of Mendelian Genetics that I would think that would be important... I guess the concept of dominance and recessiveness and some traits are dominant... we have dominant/recessiveness relationship, but for other traits we have, the heterozygote is intermediate between the two homozygous genotypes. (00:08:40) That would be something that I would certainly cover. And then some coverage of the structure of DNA would be important and how DNA is organized in the chromosomes and then some of what we know about, and beyond that, transcription and translation. So that would mean knowing something about backup replication, that means knowing something about... there are enzymes that control replication in DNA molecules and what happens is part of meiosis and mitosis. (00:09:29) And then that there are enzymes that read the information from DNA to RNA, so, some idea of RNA polymerase would be useful. When I was in college nobody knew anything about introns and exons. So I don't... I think that might be probably sophisticated for high school students to learn something about RNA processing after transcription but I would cover sort of basic transcription and then the concept of a

genetic code and how that code is translated by the ribosomes from RNA to make proteins. And the proteins of course, when we start to drift away from Genetics a little bit. The proteins in new ways govern the activities of the cell, and the kinds of proteins that are produced in the cell determine what that cell does. So we have muscle cell, brain cell or liver cell and something like that. (00:10:44) I guess that thinking about transcription and translation, the idea that genes are turned on and off from different cells and during the developmental process from the baby to the adult the cells proliferate and also specialize and that's a consequence of genes been turned on and off. I guess you can talk about some simple models for the control of gene expression but there are a lot of things going on there, I think it would be too much, I wouldn't try to teach in High School. (00:11:32) And then as I consider myself an evolutionary biologist, I think some introduction to the nature of genetic variation would be good. The diversity of life, among species, and certainly among individuals among within the species, I think are important concepts that an educated person should be aware of. (...) The aspects of genetic variation exist virtually in all species. I don't know how much time is devoted to Genetics in high school biology class maybe a week or two so we can't cover a lot during that time. Does that make sense? Is that a response to your question?

(00:12:57) E: Yeah, and I would also like to ask one more question. In Brazil, some interviewees said that it is not a good idea to teach Biotechnology at High School, because if so they come to university without knowing anything, they do not know Biotechnology and they not know the basic knowledge of Genetics as Mendelian laws and other basic concepts of Genetics. What do you think about it? Must Biotechnology be taught or not at High School?

(00:14:01) DE4: That's a good question. I think it's important to teach students something so that they can understand big issues of the day and certainly Biotechnology is a big issue. People read about it in the newspaper on a regular basis if they read the newspaper or hear about it in the news. And you know, when people first started using the term Biotechnology when I was a graduate student in the '70s basically what them meant was people had first started to use restriction enzymes to cut off the DNA (of virus) in different pieces of DNA together and so basically that meant sort of engineering in bacteria, researching genes around bacteria. (00:15:00) I think that's a fairly sophisticated and complex subject for high school students but more broadly, of course, Biotechnology is advanced too, including the engineering of eukaryotic organisms so it's very important to agriculture, so we engineer genes in the plants that we think will improve their economic value to us. We do the same

thing with domestic animals. So, sort-of-that aspect of Genetic Engineering is an important issue in society because the more we start to play God the more possibilities that we can make some mistake, I don't think that's a big issue but a lot of people think that playing around these areas could lead to some mistakes. So, I suppose we could. (00:16:07) So, I can imagine that when we would put some sort of gene into a "crop plant" to make it resistant to an insect pest, and that plant would breed with a relative growing in the wild in the ditch next to it and that gene then gets into the population plants that was a weed or something, and then that (the weed) plant could take over because they would be free of this pest. There is a lot of room for unintended consequences. Anyway, that type of genetic manipulation is one area of Biotechnology. I think we might talk about the issues broadly but the details about how that engineering is accomplished would be way too sophisticated for high school students. (00:17:03) If I think about Biotechnology, there is a lot of work now in reproductive technology, especially with mammals, where we have a potential to cloning individuals. And that of course has all kinds of ethical issues swirling around it. And I think that's probably something where, once again, it would be important to engage high school kids on issues, but the technology that are in: how you clone a dog, how and why might that be different from cloning a human being, what are the technical obstacles to doing that successfully, that's too much for high school kids. (00:17:59) But I don't think it would be too difficult to talk about some broader issues and what it might mean. Not ever having thought about how I would engage high school youngsters on that issue, I'm not sure how I might go around it if it was my responsibility, but I don't think I would shy away from it. I would not shy away from it because I thought it was too complicated issues, so much as I think it is something important for people to have - some accurate information about - before they come to society as voters, people in position of public responsibility where they make decisions of things of that sort (00:19:04) I haven't talked about biotechnological issues regarding your question originally. That is pretty much off the topic in my head. I guess when I think about Genetics I don't think so much about Biotechnology. As an evolutionary biologist I am fascinated by the diversity of genetic processes that is out there. (...) But, you know, Genetics is the transmission of information as we understand in the architecture of the DNA molecule, is the fundamental life process. So even when we are not going to be in anyway educated about Biology I think he needs to understand fundamentals of Genetics as we understand DNA replication, (00:21:06)

transcription, translation and then how the “genetic trail” is parceled out from parent to offspring, and the basic Mendelian Genetics.

E: That’s what I need to know for my research. Would you like to complement?

DE4: I think that’s all I can think of unless there is something you think I should talk about particularly. That’s what immediately comes to mind for me.

## **DE5**

(00:00:46) DE5: Ok. I think there are a lot of topics in Genetics and related topics, for example: cell cycle, or Cell Theory to start with to understand that as a basic unit of life and then cell cycle to understand cell reproduction because that seemed to be a foundation for understanding inheritance, you can see the large patterns across generations but understanding a cell cycle and what happens during a cell cycle I think is fundamental. And so within that take it down you know smaller than cell, the basic unit of life and within that you need to understand what that genetic material is; what actually gets passed from one generation to another and I see students struggling very much with the molecular bases of life. (00:02:15) Understanding what the DNA is made of; what it does; how it holds information...so those are things I think that are important to teach in high school level. Things like mitosis and meiosis as processes I think are important. I do not think it’s necessary that they memorize the phases of mitosis and the phases of meiosis and know the names, I think that the tracks for them to understand it conceptually, what’s happening in the process and why that processes are important for inheritance, process of meiosis... (00:03:11) just basics...how, you know, for eukaryotic Genetics, having two copies of chromosomes and knowing that in the gametes that we have one copy of each kind and that is a foundation for understanding inheritance patterns. So those kinds of things I think are important for the high school level. And then looking at the broader inheritance patterns across generations and... the main ones that I think that they should have at least an introduction to, would be autosomal dominance, autosomal recessiveness, X-linked, and then the idea of co-dominance. (00:04:12) Those are things that we can track, traits we see every day, and I guess have relevance, it gives some relevance to them. And then I think it’s important for them to have an idea of what can go wrong. You

know, and now goes back to understanding what the genetic material is, what is DNA, what it's made of, and how does it hold information. That goes back to the concept of the central dogma tracking that information and then when something goes wrong, saying in DNA replication or in a transcription, or translation what's the consequence of that. (00:05:07) And for Genetics you take it all back to the DNA level. Ok, something happens in the DNA replication and depending on what type of cell that happens, and in the reproduction of their gametes, then that becomes an inherited mutation which now is gonna be passed on at that particular DNA gets used in the reproduction. So there are a lot of related concepts I think to understand Genetics and the molecular processes that is behind it, I think are very important, especially today with Biotechnology issues that we have understanding. (00:06:00) Ok we can manipulate genes, even going to start trying to do gene therapy, trying to force certain types of mutations and what's happening with that and what is a consequence for not just the person but potentially inherited after that. Lot of things are relative...

(00:06:38) E: So, do you also think that Biotechnology is important to teach at High School?

(00:06:44) DE5: Yes, I do.

(00:06:46) E: And what topics in Biotechnology?

(00:06:52) DE5: In Biotechnology I think just some of the basic things such as, you know, what is DNA fingerprinting, what is it used for, how reliable is it,... the concept of cloning can be very scary for students who don't understand all that's involved. Scientists are cloning all the time, and it's a tool. Versus the reproductive cloning that most people are scared about. So there's lot of misconceptions around Biotechnology such as DNA analysis and cloning. The big issue now with stem cell research, where stem cells come from, what are they able to do, and the purpose of isolating and manipulating stem cells, that's very misunderstood by the general public. It's just basic, Cell Biology and relates to genetic stuff also so I think those are important things.

(00:08:21) E: So, you also said about recessive, dominant, do you think that Mendel's laws must be taught?

(00:08:42) DE5: I think Mendel's laws are...Yes, I think they should be taught within the context of meiosis as a theoretical explanation for those laws. (With) the laws you see these observed patterns, ok? Now why did these things happen and that then you have to take it back to understand what's happening in meiosis as a model to explain those laws.

(00:09:18) E: And do you think that students are able to understand Biotechnology at High School or it's difficult to them? Because I have different opinions in my research: some interviewees said that it's difficult to the students to learn Biotechnology and Molecular Biology. So they think that's important to teach the basic of the Genetics: Mendel's Laws and other basic things...meiosis and others and then they don't waste their time with Biotechnology and Molecular Biology. And others not. Others think that it's important to teach it in High School because students need to learn it. What do you think?

(00:10:45) DE5: I think it's important to teach that, at least an introductory level in High School. If for nothing else, this may be the only time that people hear about these things, and structurally. And if they don't go to college, and they don't take anymore Biology and they are voting citizens... I mean that's what it comes down to, is: what's important for scientific literacy. It is each person that is a citizen in our society, who has to make and form decisions and there's so many places to get information from the media, from movies, from... you know... the newspaper and many of those venues present misconceptions because they're very slanted towards somebody's view and they may misrepresent the science behind it.

(00:11:49) Nothing in High School is necessarily going to get a full understanding, a sophisticated understanding, but I think it's important that they understand the basics and get introduced to resources for further information that's appropriate and become aware of different sources that can teach, the information that they're getting and appropriate media, those kinds of things. Because these are people who are making decisions about things that they need to have some understanding of. In the class that I teach here most of the students haven't had any Biology since they were in High School and now these are, you know, eighteen, twenty, twenty-one year-old people and they still have a lot of misconceptions, even about what a cell is, where cells are, about DNA... (00:13:16) we've talked about stem cells we've just been a long time talking about stem cells because it was on the voting ballot last year and students in my class voted to either support stem cell research or not and I thought it was important that we had this conversation to see what they knew about this and they really knew nothing about what it was about and then they had heard it on the news and so that really got me thinking about what I would like to see them having in High School because if they didn't come through our classes here what have they learned? So at least have an introduction.

(00:14:18) E: Well, do you remember about another topic that you would like to talk about and that you think it is important to teach.

(00:14:32) DE5: Other topics that are important to teach? Related to Biotechnology and Genetics would be the genetic modified foods, that's a big issue and... (I cannot cause... to the fundamentals at a molecular level again, understand what's happening and we can really scaring saying)... people think "Uh! Genetically modified! it's going to, you know, be weird, it's going to hurt people or it's going to change my genetic make up if I eat this genetic modified tomato". And so those are things that can be discussed in the basic, basic Science can be taught at a high school level, that students are sophisticated enough to handle it. Those types of things I find more important than having them doing the genetics problems and multiple Punnett square and tall pea plants crossed by short pea plants what do we get? That's a good introduction but now let's help them take that and use it with a real world application...

Complemento requisitado e recebido por *e-mail*:

Da entrevistadora para a entrevistada:

In our interview, you said to me it is important that students learn about biotechnology in Genetics because they will be voters.

You mentioned the 2008 stem cells ballot. Do you know other examples of ballots related to genetics issues in Michigan?

Da entrevistada para a entrevistadora:

Other than the vote in 2008 about stem cell research, I am not aware of other issues in Michigan that relate to genetics.

There are often issues that come up on a national level that have to do with funding for science research related to stem cells and gene therapy. As the administrations change nationally, the funding focus changes too.

**DE6**

(00:03:05) DE6: The first thing I wrote I'm calling it skill and this is skill in a spacious sense so I think that students should definitely come out of high school understanding the difference between DNA and genes versus chromosomes versus... nucleus versus cells and understand when we are talking molecules, when we are talking genes and DNA, when we are talking larger things and I think they should probably have before they tackle Genetics in their biology class certainly a reasonably good concept of levels of organization, smaller things make bigger things, and what the names are... you know.. cell tissues. A little bit Cell Biology at least knowing the smaller parts in the cell like the nucleus. (00:04:05) But I see a lot of confusion between the differences between the genes and chromosomes for example and DNA, they've heard of DNA but they couldn't distinguish why don't we just say gene, why we say DNA, you know, the idea that there are long chromosomes lengths that the genes are just units and not all DNA is necessarily part of a gene. So, some appreciation there. I'm not saying that it has to be taught in that order, I don't know how to convey this. The next thing I wrote was that they should have an appreciation for DNA structure, not as a Chemist would, I don't think we should make them memorize this is A when they see a chemical diagram; I don't think in High School, unless they've had chemistry maybe. I think it's silly to make them memorize that. But certainly, I appreciate that it is a linear molecule (in essence), that there are four units and you see gene (sheaves) that are building blocks and therefore why do we talk about sequence because all you need to really know, to appreciate it is A C G T and what the order of the letters is. (00:05:22) And that will also until some appreciation for what we mean by the word genome, you know, human genome is the collection of all sequences and all the chromosomes. And then finally, without a thorough chemical discussion, that there are two strands, why there are two strands, they are complementary in their base pairs... They should understand, I guess memorize, AT GC, they have an appreciation for that. And I think that matters most because then when we talk about how things get copied in a simple way, replication, they can understand, it is very simple in a essence, ok?, you know, one part make the other, ok? (00:06:15) The next thing I wrote was process and by this I mean understanding at a basic level that DNA gets copied and we use the word replication for that and that again the two strands...you know... understanding it is

very simple, all you need to do is separate them and write copies and a real machinery inside the cell can do that. I don't think they need to learn about all the different DNA polymerases, and leading and lagging strands and all the complexities of this level because at... 5'end or 3'end I think don't mean anything it should be chemistry anyway, I think that's a little much. They can know they go one way and the other way but the terminology I think is less important than... in essence, ok? (00:07:02). And if they had a prior Cell Biology introduction to cell division then I think they can very quickly just explain the point of mitosis is simply to separate and then the point of meiosis is to scramble and shuffle and split things in half. Again I don't think at this stage for Genetics they need to name all the stages for what the microtubules are doing, that's really Cell Biology, I mean, that would be nice but I don't think that is central as Genetics goes, ok? So, how replication is related to cell division and then some appreciation in mitosis everything goes, you know, you make two perfect copies, in meiosis you cut things in half and it goes in some random combinations. (00:07:56) And the other (course) process is how you express genes and they should understand that it takes two steps, they probably should learn the names, transcription and translation, you know, you make an RNA and that's, again, that's very simple because it's just simply pairing and the hard one for me to decide how much they need is translation but the broader point is understanding ... start with gene and make a protein from I think that's crucial, in fact, even if they don't get into the role of RNA and any details of the two key steps to appreciate, you know, genes are here, they can be copied by this process and may be expressed and when they are expressed you are making a molecule and a little bit about the fact that proteins are chemically very different, they are more building blocks, they don't need to know the names of the monoacids just appreciate that's a different thing. (00:08:58) When I teach that in my class I usually make the point we call this translation because everyday word, we change from one kind of information to a different language. So I think they should have that. Let's get me to the bigger point. My next thing I called meaning, and what does that mean, what does genetic information mean, then they have some appreciations and some examples, so genes make proteins, so what does that matter and talking a little about what proteins are, what they do and how proteins are important for making cells and the properties of the cells are determined by the proteins there are in the cells and therefore the genes, they are expressed. So, I think having... that goes with processes... but it is just...it is back enough... (00:09:52) which brings me to the next point of course I think they have to have... they have to come to

appreciate variation, where comes from, that mutations happen, what a mutation is, that it is a change in the DNA that could passed on. They don't have to talk about all the different ways that mutations happen, that's too complex but understanding that things happen at random. So changes in the DNA and that a change in a gene can affect therefore the protein itself. And that again is all part of a big picture but instead of just saying gene and DNA, RNA and protein now change DNA change RNA and change protein, change level protein... the fact that these are molecules that are altered and how the effects play out of the molecule level. (00:10:50) And then the real big which is that they understand the difference between the genotype and the phenotype and I think they need to have these words I think there is no substitute, that's too simple. And this is where I'm a little on defense. I don't know if they have follow and learn everything about Mendel's experiments, I think it's good if they can but I think it's more important if they appreciate, you know, there are simple relationships determining Mendelian traits and give a few examples and explain, in some cases the genotype is determined in a very simple way, and give examples, genetic diseases something they can relate to, I think that's good but I think it's even more important to backup and save but the problem is that the automatic relationship in most cases is very complex. We know the changes in proteins are involved, generally speaking, but doesn't matter Science having a through appreciation for how you get from the molecular level to the global level... entire phenotype of the organism for many things and that is where the Science really is now is understanding more about that. (00:12:09) So, a few simple cases but then introduce the concept of polygenic effects and gene environmental interactions and stuff, maybe a few examples but the broader point is just to make it clear, as a matter of understanding. No one can look at your genome and predict exactly what you will be, they don't come away with that lesson. And then I have two things... steps a little beyond it: Genetics per se and the significance of it. And I wrote two things here, one I just called technology, they need to appreciate with maybe a few examples the part of Biotechnology that's focused on gene existence. (00:13:06) We have the tools, scientists can clone, isolate clone, change and do transgenic. Understanding DNA is little molecule, is easy to take up out the cells, study, alter and go back so that they understand in essence what transgenic organisms are and some idea of what is happening, that exist simple tools...relatively simple tools for studying DNA in a test tube to allow you to affect living things based on these technologies. And then the hardest one here but I think for me that would be the most important for future citizens is to

appreciate what Genetics is coming to mean for Science and Biology as a whole, not for technological purposes but for scientific purposes. (00:14:00) This is how we come to understand ourselves at a molecular level and above. I haven't thought how I'd try to teach this... and what examples I would give examples... you know... by studying variation we can learn about how particular molecules and proteins... what they actually do for, somehow they change. That we couldn't understand ourselves and how ourselves even work without using Genetics as a entry to try to understand that, of course that's not the only way but we appreciate that because what I find in my family for example, they ask what I am doing, they don't understand by studying, we're not just trying to understand how genes work and in general we're trying to understand anything, development, physiology. Genetics is a central science and Biology really because it's more than just understanding why somebody has blue eyes and others brown eyes, it gives us an entry, given this technique. (00:15:02) And I think that's very important because it is... I think most students come out of High School even in College don't really know... Science is just kind of crazy, bunch a stuff and they don't... you know.... "Why do you wanna study a gene?", they don't understand at a basic level where knowledge comes from and I think just introducing to that idea would be a good thing if you could. Maybe that's too ambitious, maybe the more important things I think you are looking for it... do you know...what should be learned at these levels. One thing I've seen is that there are many students that are been exposed to details not just in Genetics. I've had students who came out of High School and they have memorized the Krebs cycle, they know the names and they don't know what it is for. (00:16:07) I mean, they can name every intermediate but if you sit down and say oh well... It is a "forest for the trees" as we say. They are getting a little "nitty-gritty". And so... having them memorize structures, chemical structures at this stage I think it is a waste of time, if they go to school, if they really learn chemistry, organic chemistry, fine, but I think otherwise it is silly, I think, you know, I don't think I have ever heard of someone memorizing the genetic code but, you know. Digging into all the minutia of that, I think that's a little silly. Or learning about a TATA box and where that's involved in initiation. (00:16:55) I think at this stage even worrying about the fact that there are three RNA polymerases in eukaryotes, I think that's way less important than they get the bigger picture and know the essence of things, and not the smaller details, that would be my take. And things like the ribosome cycle, which RNAs are in which subunit of the ribosome, which ribosome are... I think that's all kind of silly at this level if they don't see

the bigger picture. Those are the things that occurred to me. I call the scale, smaller, bigger, DNA, gene, chromosome, nuclear cell, of course it should go beyond, what DNA is made of, it's simple four units, (later) two strands, simple rules for how they match other complementary, (00:17:53) understanding the key processes, how you copy information, how you express information at a DNA level, understand more broadly the meaning, because genes are there to specify proteins, because proteins (in terms) are really the agents of the cell dynamics, and that is what gives rise to properties of the cell and phenotypes, know that you can change the DNA through mutation, those changes (get a mean of anything that) affect the expression or structure of proteins and therefore the broader thing. So that ties in with the meaning, and therefore understanding the distinction between the phenotype and genotype, this whole big black box, all bunch of different genes, variation, and all kind of proteins with their higher level, complexity, interaction given varieties to...the organism, ... and then something about technology.

(00:18:52) E: When you talk about technology what do you mean? Can you explain more?

(00:18:57) DE6: Simply that they understand, I don't care if they don't learn what a vector is or the difference between a plasmid and a phage vector. I mean it doesn't hurt; but you know, for the scientist, it's an everyday event, that for any piece of DNA from any organism, to pull it out of an organism to make copies. If you wanna cover beyond that and talk about how PCR reaction works I guess that's ok but more important is that they appreciate that. That is an everyday event, that it's not even really Rocket Science, it's not some horrible technological thing, than we can clone genes, we have the tools to clone and modify genes.

(00:19:42) Ah, another point that too, this goes back to genotype and phenotype, we can do anything we want... making clear we can do anything we want with the gene, maybe a few examples and certain techniques is just a good idea you know... we put them back but we are not at the stage where we can actually predict the effects of anything and in many cases we do that in parts to understand how things work in some cases, another cases engineers do it to modify things for technological reasons. But the tools exist and they need to understand that as citizens the decisions about what we will/won't allow has to do with other organisms, or even ourselves. That is automatically a policy decision if you're using it for others than research purposes certainly but to know enough about the technology per se so that when those discussion come, to understand that technology exists, I don't even care if they know how it works but just appreciating where we are and they can follow that up. (00:20:53) So,

probably just making a distinction between DNA cloning versus cloning cloning, you know I use the word cloning when talking about this and understanding cloning in one level and copying DNA. I don't see the whole issue of cloning whole animal or cloning therapy, to me is not quite Genetics anymore that's Cell Biology itself, I mean, I can talk about that too but I'm trying to limit this to what I consider genetic per se. What I think it would be important, there are other things about Biology that I think they are important too but I don't think that's the conversation you are looking for.

(00:21:33) E: Yeah. I am looking for what is related to Genetics.

(00:21:42) DE6: To Genetics... As I said at the beginning, I haven't talked in details about what I think they should or shouldn't know about cells, obviously a large part of what they should know about cells is Molecular Biology too, to me it would be a little bit silly to launch the beginning of any high school course with genes, DNA and chromosomes without first make sure they understand what a cell is in a spacious sense, what a cell stands, (what are the) smaller parts, if there are molecules, if there are organisms, if there are cells, tissues etc. And of course when you get to things like mitosis and meiosis if you haven't covered cell division at all if you haven't introduce the concepts then obviously if you are teaching that as part of the Genetics (in the currently) you are gonna have to back up, talk about the cell theory and explain the essences of what happens here and then of course talk about the differences between sexual reproduction and asexual reproduction (00:22:54) That's what I would assume they are covered somewhere. If you are covering that at the time you are doing Genetics then how you structure that, would have to be different. I kind of assume that somewhere in the course they will also be giving that prior to or if not, then you can fold that in. The real problem with Biology is that many of these distinctions are artificial, where do Genetics and Molecular Biology end and Cell Biology begin, well, you can't thoroughly understand one without a reasonable amount of the other. So anything I've said would have to be integrated in a reasonable way. I could begin at this stage to try to think how would this be covered and in what order, I don't know that. I can't design a curriculum, that would be a much harder thing, but I would just hope that a student coming out of High School would have at least a (passing) familiarity with the kinds of issues I touched on. (00:24:10) I think what's more important at this stage, there is a few key terms you can't escape, gene, chromosomes, DNA, nucleus, you know, and certainly having at least a minimal vocabulary is important but I think I've seen too many students who have been overloaded with terminology and vocabulary and under loaded

with understanding meaning and I think that's one of the biggest challenge probably in education because there is so much jargons and so much information too and I think it easy for students just kind of get overloaded that and not understand where the things fit I would have to say that the students I've seen on average are anywhere close to having this kind of preparation (...).

(00:26:36) E: Could you summarize why you think this content is important for them to become a ([criti ...]

(00:26:52) citizens?)

(00:26:53) Yeah.

(00:26:54) DE6: Yeah, well I could treat it anecdotally. I can't turn on the radio and listen to the news stations I listen to... maybe, not all of them are the same... we can't listen to the news for more than a few days without hearing discussions of various issues in Biology including many of these things. They are bombarded with... you know... scientist discovered a new gene for... you name it, or scientist discovered a genetic link between such and so. I can begin to whole particularly understand the tools the scientists use to discover that link, that's not the important point but I worry that too many students, if you say genetic link, they can't make any connection. The Genetics, what does it mean to them? It means, I guess, I inherit it. I guess that's what that means, you know. (00:27:56) But unless they understand that if you say genetic link, you are talking DNA, you are talking these little things, they are molecular in nature in your cells, that you get from your parents, and if there is a genetic link sooner or later it has to be played out, probably through these kinds of molecule interactions and processes. (00:29:11) (...) I'd argue that this even just from a pure matter of being human, having some appreciation what the hell did you inherit from your parents, you know, appreciation that when we say you inherited your blue eyes from your mother, what does that really mean, it means you have genes and how that plays out, I think just to me it's (in common that) anyone to have some appreciation for what they are as biological entities and I think it doesn't necessarily begin and end with Genetics, but it is too central now for them have it. (00:29:56) But more broadly, I mean matters of public policy are just ripe with... ties into to this, and you know, bioethics, it is full of questions about what should we and shouldn't we do in terms of genetic manipulations. Well, you can't even talk about what a genetic manipulation is or appreciate what it means without having, I think, most of what I tried to discuss, in hand. You have to have some environmental construct to appreciate where

these things fit. I'd hope that anyone after High School would be in a position to understand just the simple and the most basic issues in Science here. So that they have a solid concept of what is actually in to discussion. (00:30:55) I don't think it is a role to... I mean that scientist tell what they should think except when you think gene, that's what you should think when you think gene because this is what scientists understand that the concept means. So, to the extent that High School might go beyond this that would be great, (...) I see evidences that a lot of students are even coming out of High School with basic literacy skills in many cases. (00:31:59) Many of them have a hard time navigating even the not advanced textbooks. I assign questions I just want them to go in the book and read a few things answer simple questions and there are often times when they seem to be at a loss for how to read section A and then section B and then answer a question where they have to compare them. The ability is not always there. So, I don't think Biology is the only deficit we are having and in that again might be another reason to say "Ok. Maybe they should be spending more time in the English class too. And maybe they shouldn't be filling their brain up with knowing the 5' primer and the 3' primer in the DNA, and this is the leading strand, the lagging strand replication... you know... If they do not know what means anyway they can't read the textbook and actually understand it and extract from it what they should.

(00:32:57) E: When I was interviewing some professors I had different opinions...they had different opinions. Some of them think that students at high school level must understand only the basic knowledge of Genetics and they mean the Mendel's laws and how they work. And they think that it is better stay in this level, only in this level and not talk about molecular biology issues or technological applications because they think that it is too much to teach them and they would not learn all these things and would have problems with everything. So, they think if the teachers focused in basic things about Mendel, students could understand better these basic things after when they come to the University, and could understand more complex things about Molecular Biology. What do you think about it?

(00:35:00) DE6: I agree there are many complex things about Molecular Biology they shouldn't be learning and I struggle a little bit here when I even want to mention both transcription and translation whether I just want in the High School say "Ok there the steps that happen and you end up with ACGT and you end up with methionine, serine" ... you know, you get from this to that without worrying about any level detail, I mean, but here is my point, I think Mendel is misleading in one sense, he understands how... he figured out the

essence of genes as units work sexual production (00:35:53) but I think the problem there is that as a human being if I wanna understand my phenotype it is not just a whole series of dominate, recessive, single gene traits, it's, if, Genetics becomes to them a 3:1 ratio, it's beautiful if they can actually fully appreciate, "Oh, Cool!" But there are two problems. Number 1, I actually have being taught Genetics a lot, as simple as Mendel is in essence. It actually, I think it's harder for many students to grasp on that own terms than a simple idea of DNA, RNA, protein, two strands, separate and copy them. (00:36:56) I think the nicest thing about DNA is that it actually does it is simplifies the biochemistry. I don't think students should learn the great details about biochemistry, I don't think they should learn detail about DNA, and they certainly at this level shouldn't learn the gory details of all the steps in transcription, all the steps in translation, etc. That's complex, that's hard core Molecular Biology. But the simple facts of Molecular Biology I actually think are more important now right at the high school level for a variety of reasons, and more important really than Mendel. I love Mendel. I think it's very important but more for historical reasons. If you come away thinking that Genetics is Mendel and, "oh, one gene goes here and one gene goes there and then they come back together"... you are putting them into the head of Mendel, Mendel is brilliant but he didn't really know, he only came to learn one thing about genes and that's how they work during sex. (00:38:10) Well, in some cases they are determined even essentially for phenotype, in some situations, once they have the study... you know... if you were pea and everyone was either tall or short that would be lovely but except for some disease conditions, (so a) person isn't taller than someone because they have two copies of the tall gene and two copies of the short gene... you know... The rules don't apply to most of what matters in terms of most natural variation. I would say that if you wanna cover Mendel at all, you only wanna cover when you get to this... you know... Phenotype, genotype, sometimes it is simple (00:38:53) but I think you really want even cover that after they know what DNA is, after they understand something about that ...passed on and... well, how it's copied. (00:39:05) And again it's stupid in my opinion to teach Mendel nowadays unless you teach meiosis. So, if you're saying teaching Mendel also means teach Cell Biology and meiosis, ok, good. I'm on the fence there. I think it's nice if you can really get them to appreciate meiosis in a mechanistic way, because it's elegant and it's simple, but I think again, it's a little bit of a stretch. I teach Genetics to second and third year students, biology majors, who have already seen at least once, usually twice, and they still, it takes a lot for them to fully get it and it's

important if are really gonna be a biologist to get it. (00:39:58) But I think for an everyday citizen it's not so critical, what's more critical I think it's just to appreciate, by whatever means happen, you end up getting half genes from your mom and half genes from your dad and one copy of the gene from mom and then from dad and understanding how Mendel figured that out how that plays out to affect phenotype should be differed for when you wanna talk about things like genetic diseases or occasionally a simple trait. But the bigger point I think, I think Mendel is misleading because if you're looking for Mendelian inheritance for traits, you don't really see it enough and it tends to reinforce a deterministic view of the genotype and phenotype relationship because when it's Mendelian it is deterministic. Well most of the things that matters to us as individual humans, it doesn't work that way. (00:40:57) And so... I think you can't... And you might say: Oh! But you're just confusing them" and you're just saying... "Oh..." talk ok ... you don't wanna just say "Oh, it's all so complicated that we don't understand either. You just wanna make clear that we understand it thoroughly, more or less thoroughly, this is what a gene does, it's used to make a protein, we can change the protein, we can change the amount of time or place a protein is made if you change the gene, and that's simple if they get... well... I don't know if in your country they call central dogma but DNA, RNA, protein, you know, if they simply have that basic understanding and I'm not (advocating) teaching (in core detail), but just what's a gene for? A typical gene is there to encode information for making the protein, how do genes work? They work through proteins. And if they come away with that, I think that's more important than knowing well whenever a pea plant is gonna have sex, whenever a flower... you know... (00:42:01) segregate, a law of segregation, I mean, that's simple, but working them through a million Punnett squares if they actually don't bring it up to, also, I think in a way it's more important to get the simple points of Molecular Biology cross, because modern Genetics isn't Mendel, I mean, it includes Mendel and obviously you have to use the kind of tools that Mendel started developing to be a geneticist and analyze things you need to rely on variations, study the inheritance and how that affects the phenotype but the Mendelian situation is for an ordinary citizen, I think, I think it's probably over the size. I really do (00:42:56). There's been some semesters I haven't even got to Mendel but I've explained about why does it matter that ...two strands of DNA and why is it so cool about base pairing, to me that's, for modern understanding I think that's more important in way. Part of this is a matter what we mean by Genetics too so, I mean, some people would say half of what I've written here talked

about it is kind of, I mean, it's Molecular Biology clearly and it turned into Cell Biology yes, but if you limit, if you say where Genetics ends, where Molecular Biology begins then, it's just a big black box, genes were black box to Mendel, and they are not a black box to us. (00:43:49) And so, I think, you can give Mendel his due, historically he is incredibly important. Discovering the existence of genes per se; that was even more important than his laws. I mean, to me the fact that there were units of heredity... and how they behave; they only really knew they existed because they could see how they behaved in sexual crosses for Mendelian traits. But it's even more fundamental that there is this unit to me than that they happen to segregate during sex. (...) I think that if you stop there, if you stop your treatment of Genetics with sort of just Classical Genetics and skip Molecular Genetics and Molecular Biology you just kind of confuse the kids because all they are gonna hear in the media is DNA, that's the way I see it, I mean, all is DNA, we live in this DNA century in the world now and everything they learn about Biotechnology isn't about laws and segregations, it's about manipulating DNA. (00:45:00) We don't need technology to get segregation to happen, the organism does it, we use Biotechnology to take the cells, to play with them, why does that matter? It doesn't matter because genes segregate, it matters because they affect protein, still I'm saying and I think you're losing the thread of what students need if you kind of look at this... Mendel only or certainly at Mendel first. Now, in college level Genetics there's been a change, a shift, it's not universal, genetics textbooks used to start with Mendel, chapter 2, you know, one would be introduction to Mendel and then... and then you get to ten or twelve, DNA structure, what..., you know. In most books..., most books are starting to invert that. We cover DNA first. (00:45:59) And ideally you have to know both to put it all together but the questions which you should cover first and I think most books authors have come to realize and people teaching it have probably pushed it in this direction. And at this day in age, pretending that you don't know what a gene is because that's what you have to do to put yourself in Mendel's shoes is kind of silly, what a gene is physically, you know, molecularly. And I don't fully agree but I've heard an opinion expressed by some geneticists that even when you do Genetics in college they don't really even teach Mendel anymore. It's... I mean at some level they have to, (00:46:57) but it's... the central themes are no longer, you know, "Isn't it amazing when the two alleles segregate when you make a gamete and meiosis!" ((risos)) I mean, meiosis explains Mendel, Mendel anticipates meiosis, it's beautiful. You need to understand that meiosis gives you... diversity and takes you from diploid to

haploid..., you know, yes, that's great. But, high school students, I don't think they have to really understand meiosis, I don't think they really have to understand even really Punnett square. Well, ok, you can just give some examples... (...) But if they don't understand why, that's less important, than they just get the basic idea. (...) (00:47:53) And in the end I think it's more important for them to realize, whatever my chances are this all comes down to molecules and that's again from a philosophical point of view important that they can appreciate that what you see has always some microscopic molecules that play out and that's just from a philosophical point of view, they don't have to accept that they are merely a bag of chemicals but to understand that... you know... chemicals... things of that hit a level... are what (automatically) matter the most at a biological level. We don't have to pretend anymore that we don't know anything about DNA, when we do and then... I think we do in students this service if we to say "Oh Molecular Biology is too complicated". It's only complicated if you put the complications in, but the essences of unit, DNA, translate and protein, you know. (00:49:00) Now, that's where are things are complicated, that is what I tell my students: "proteins are horrible". We can understand in simple terms how DNA works, how gene expression works up to level protein, but proteins are way too complicated, way too diverse... that's where real complexity begins. Forget trying to teach that to high school students but at least to give them that idea that little things are fold-up we can't see them, they are tiny, but they are doing all these things for you. When you screw them up, then you can get a disease. Or if you tweak them a little then you can get little taller or shorter, you know, that basic idea, I think there would be where I would stand. (...) So yeah, if... I would be in the other camp, I would say if you can squeeze Mendel and fine... but I wouldn't start with it, I think that a mistake in this era. (00:49:55) Fifty years ago, eighty years ago, it all begin there, but Genetics is going way beyond rules for inheritance and this is the point I made at the end. It is how we figure out, I mean, because hundred and fifty, some years ago someone figured out rules for inheritance and people follow up and we now are in a position to understand like processes easily at the molecular level but Genetics is central to that entry and until we knew genes existed... and again that was Mendel critical thing... these things exist. I mean, apply to bacteria. Mendel's laws are not universal, they apply to sex and they apply to genes that are not closely linked, for the second law and dominance sometimes it is sometimes it isn't and what only matter is that a single gene trait anyway and it is cool to think about "Oh I wonder what it means", but that's for specialists. I think for a kid in High School, "Oh! Look! Dad is

tall mom is short I'm in between oh I must be an incomplete dominance" that's silly, the lessons at Mendel are too limited to emphasize. So that would be my take. Now, probably kids who are being taught Mendel, are learning thinking skills and are becoming great college students while kids who are getting a little of everything are not, I don't know ((risos)), you can address that question... but as far as, if you're not preparing people for college (I would certainly want to convey what... I convey more than given things), if you're preparing for college (00:52:06) you know you're gonna get things later I suppose you might be a different way to think about this, to say "Well, in that case they are gonna get it eventually we don't have to get on". So, depending if you think this is the end point. And I guess the way I thought it is true and I thought... I kind of treat them like a citizen assuming they are not they are getting anymore Biology later, not gonna go to college, not preparing for them... just preparing...(00:52:34) And somehow to me if people don't know, if they've never heard the word protein or only heard about it like "If you eat a lot of meat... you know... your gonna "beef up" with protein." ... If it is only nutritional category to them, and not... If they don't appreciate that genes are there, and that a protein is a product of a gene, I think that's a much greater loss than if they don't know that Mendel called "something" the law segregation; and that it has something to do with how it separates one copy ... you know... one copy from the other to make a sperm and egg. I think (that this way is the) question how do you teach sex, reproduction broadly, you know, and I definitely think they need to have beyond this something about sex and don't just mean how use birth control, but the essence of appreciation for what's going on there, and I think that should come after this in High School, in a biology course, and there is where if you want you can get back to Mendel's laws a little bit more to say, you know, then you can cover meiosis a little more thoroughly, as a part of sex (00:54:01) but I don't think you need to treat Mendel's laws as a very central part of Genetics at that level I guess, I hope it make sense. (...). I glad you said that you had because I haven't thought about that issue thoroughly. I was struggling with it where is Mendel coming in, and I would put it in what (one place later)... but again I don't think you want to start there, I really don't and I think it's more true in High School than in college.

(...)



**APÊNDICE F – Tabela de categorias e justificativas (Texto extenso – aqui apresentado parcialmente para ilustração. Tabela completa disponível no CD-ROM para consulta)**

Tabela de categorias, citações e justificativas identificadas nas entrevistas realizadas com professores que ensinam Biologia no Ensino Médio (São Paulo-SP, Brasil) e na *High School* (Kalamazoo MI, EUA) e docentes que ensinam Genética e Biologia Molecular na Universidade de São Paulo e na Western Michigan University a respeito de suas opiniões sobre quais são os conteúdos básicos de Genética para se ensinar para um aluno de Ensino Médio ou *High School* para que estes se tornem cidadãos críticos. (M= Tipo de Menção; ENT: Código do entrevistado; P = Professor; B= Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; + = menção do conteúdo como básico; += menção do conteúdo como básico após a referência do mesmo pela entrevistadora; n = inclusão de conteúdo mencionado como sendo básico; n = inclusão de conteúdo mencionado como sendo básico somente após a referência do mesmo pela entrevistadora; - = menção do conteúdo como não sendo básico ou sendo secundário; - = menção do conteúdo como não sendo básico ou sendo secundário após a referência do mesmo pela entrevistadora)

Conteúdo	M	ENT	Citação	Justificativa
1. Definição de Genética	+	DB3	(00:04:45) (...) O que significava o básico nesse momento? Significava ele ter muito firme, muito claro para ele, o que é Genética, o que é hereditário, o que é genótipo, o que é fenótipo, né? (...) Então, é através dos conceitos básicos de Genética, a gente tenta transmitir o que é fazer Ciência, o que é ter uma pergunta e tentar respondê-la. Então, para nós isso era a essência, é a essência, né? Então, nesse sentido, a gente usa a Genética como meio para transmitir ao aluno como você vai buscar uma resposta.	(00:04:45) E com esse conteúdo básico ele seria capaz de entender essas várias informações genéticas de mídias diversas e interpretar... porque já era impossível você falar sobre todas as informações genéticas neste momento. (...) Então, é através dos conceitos básicos de Genética, a gente tenta transmitir o que é fazer Ciência, o que é ter uma pergunta e tentar respondê-la. Então, para nós isso era a essência, é a essência, né? Pela metodologia científica, no caso na área de Genética. Então, para isso a gente tem que dar conceitos bem sólidos, básicos, que consideramos básicos, (...).
	+	DE6	(00:12:09) (...) No one can look at your genome and predict exactly what you will	JUSTIFICATIVA GERAL: (00:26:36) E: Could you summarize why

Continua em anexo digital...

**APÊNDICE G – Tabela de inclusões (Texto extenso – aqui apresentado parcialmente para ilustração. Tabela completa disponível no CD-ROM para consulta)**

Tabela para identificação de padrões dos resultados das entrevistas realizadas com professores que ensinam Biologia no Ensino Médio (São Paulo-SP, Brasil) e na *High School* (Kalamazoo MI, EUA) e docentes que ensinam Genética e Biologia Molecular na Universidade de São Paulo e na Western Michigan University a respeito de suas opiniões sobre quais são os conteúdos básicos de Genética para se ensinar para um aluno de Ensino Médio ou *High School* para que estes se tornem cidadãos críticos. (Grupo 1= Professores das escolas cujos alunos tiveram menor desempenho nos exames ENEM (Brasil), MME (Michigan, EUA); Grupo 2 = Professores das escolas cujos alunos tiveram maior desempenho nestes mesmos exames; B. Molecular = Biologia Molecular; P = Professor; B= Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; + = menção do conteúdo como básico; + = menção do conteúdo como básico após a referência do mesmo pela entrevistadora; n = inclusão de conteúdo mencionado como sendo básico; n = inclusão de conteúdo mencionado como sendo básico somente após a referência do mesmo pela entrevistadora; - = menção do conteúdo como não sendo básico ou sendo secundário; - = menção do conteúdo como não sendo básico ou sendo secundário após a referência do mesmo pela entrevistadora; Inc: relação de conteúdos incluídos)

Categorias de conteúdos	Entrevistas realizadas no Brasil												Entrevistas realizadas nos Estados Unidos												Inc
	Professores						Docentes						Professores						Docentes						
	Grupo 1			Grupo 2			Genética			B. Molecular			Grupo 1			Grupo 2			Genética			B. Molecular			
	PB1	PB3	PB4	PB2	PB5	PB6	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	PE1	PE3	PE6	PE2	PE4	PE5	DE1	DE5	DE6	DE2	DE3	DE4	
1. Definição de Genética									+												+				
2. Definição de Informação genética													+								+			+	
3. Definição de hereditário			4						+															6	4 5 6 7
4. Características hereditárias congênicas e adquiridas			+																						

Continua em anexo digital...

**APÊNDICE H – Versão original das tabelas 4, 5 e 6 e a lista com os conteúdos mantidos e eliminados na tabela final**

(disponível no CD-ROM para consulta)

### APÊNDICE I - Chave para identificação das justificativas para cada conteúdo no APÊNDICE F

Chave de identificação de justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar os conteúdos *Padrões de Herança* e, especificamente, *Leis de Mendel* como básicos para serem ensinados a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para Padrões de Herança e Leis de Mendel						ENT	Localização da justificativa no apêndice F
importância para o cotidiano	lidar com as informações recebidas no cotidiano	lidar com temas relacionados à Biotecnologia	desenvolver um raciocínio específico			DB3*	Conteúdo 146
						PB6*	Conteúdo 147 = Justificativa geral: conteúdo 63
						DB2	Conteúdo 147
						DB5*	Conteúdo 36 = Justificativa geral: conteúdo 15
						DB6	Conteúdo 147 = Justificativa geral: conteúdo 240
						DE5	Conteúdo 146
	compreender como as características se manifestam	compreender a herança de suas próprias características	compreender assuntos relacionados à própria saúde e à saúde de seus filhos	compreender as anomalias herdadas	compreender o que os médicos dizem	PB5*	Conteúdo 39 = Justificativa geral: conteúdo 45
						PB2	Conteúdo 146
						PE1*	Conteúdo 147 = Justificativa geral: conteúdo 2
						PE3*	Conteúdo 147 + Justificativa Geral: conteúdo 85
			PB4*	Conteúdo 147 = Justificativa geral: conteúdo 4			
			PE6	Conteúdo 147			
			PB1	Conteúdo 147			
			PB3	Conteúdo 147			
DE5	Conteúdo 146						

Conclusão. Chave de identificação de justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar os conteúdos *Padrões de Herança* e, especificamente, *Leis de Mendel* como básicos para serem ensinados a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para Padrões de Herança e Leis de Mendel		ENT	Localização da justificativa no apêndice F	
compreender como o conhecimento científico se constrói		DB5*	Conteúdo 36 = Justificativa geral: conteúdo 15	
		DB3*	Conteúdo 146	
compreender a história da Genética		PB4	Conteúdo 36	
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento		DB1*	Conteúdo 146 = Justificativa geral: conteúdo 97	
		DB6	Conteúdo 147	
		DE4	Conteúdo 147	
compreender a base cromossômica da herança		DB4	Conteúdo 146	
obrigatoriedade do ensino dos conteúdos	importância de se ensinar os conteúdos do (a) (proposta) currículo(ar) estadual		PB4*	Conteúdo 147
		Preparar alunos para testes	PE1*	Conteúdo 147 = Justificativa geral: conteúdo 2

Chave de identificação de justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo *Genética Molecular* como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para Genética Molecular					ENT	Localização da justificativa no apêndice F					
importância para o cotidiano	lidar com as informações recebidas no cotidiano				PB1	Conteúdo 213					
					PB3	Conteúdo 215					
					PB6*	Conteúdo 215 = Justificativa geral: conteúdo 63					
		lidar com temas relacionados à Biotecnologia			DB6	Conteúdo 240 + Memorando Analítico: <i>Compreensão e interesse do aluno e Considerações sobre o ensino</i>					
					DB5	Conteúdo 240					
					DE5	Conteúdo 213					
					DE6*	Conteúdo 213 e Conteúdo 215 = Justificativa geral: conteúdo 1					
		desenvolver um raciocínio específico			PE4*	Conteúdo 215 = Justificativa: conteúdo 85					
					DE2	Conteúdo 213 = Justificativa: conteúdo 45					
	compreender assuntos relacionados à própria saúde e à saúde de seus filhos			desenvolver um raciocínio específico		PB5*	Conteúdo 216				
						PB4*	Conteúdo 213 = Justificativa geral: conteúdo 4				
				compreender como as características se manifestam			PB1	Conteúdo 213			
							compreender a herança de suas próprias características			PE4*	Conteúdo 298 = Justificativa geral: conteúdo 85
										DE2	Conteúdo 213
				compreender as anomalias herdadas			PE1*	Conteúdo 215 = Justificativa geral: conteúdo 2			
	PE3	Conteúdo 215 = Justificativa geral: conteúdo 85									
	PB4	Conteúdo 213 = Justificativa geral: conteúdo 4									
	defender-se da ação de outros ou de fatores que possam ser prejudiciais à sua saúde			DE6	Conteúdo 215 = Justificativa geral: conteúdo 1						
DE1				Conteúdo 311							
			PE3	Conteúdo 311 + Conteúdo 215 = Justificativa geral: conteúdo 85							

Conclusão. Chave de identificação de justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo *Genética Molecular* como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B= Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para Genética Molecular			ENT	Localização da justificativa no apêndice F
importância para o cotidiano	compreender o que ocorre em seu organismo		PE6	Conteúdo 250
	compreender que o teste de DNA permite identificar o responsável perante uma paternidade		PB1	Conteúdo 215
compreender outros conteúdos conceituais	compreender a relação dos aspectos moleculares com a Genética Clássica ou os aspectos citogenéticos		DB1	Conteúdo 213
			DB5	Conteúdo 65
			DE6	Conteúdo 234
	compreender tópicos mais complexos na Universidade		DE2	Conteúdo 289
compreender as descobertas da Biologia		DE3	Conteúdo 213	
compreender como o conhecimento científico se constrói			DB5	Conteúdo 216 = Justificativa geral: conteúdo 15
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento			DE3	Conteúdo 213
			DB6	Conteúdo 240
			DE4	Conteúdo 255
obrigatoriedade do ensino dos conteúdos	importância de se ensinar os conteúdos do (a) (proposta) currículo(ar) estadual		PB4*	Conteúdo 214
		preparar alunos para testes	PE1*	Conteúdo 215= Justificativa geral: conteúdo 2

Chave de identificação de justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo *Divisão Celular* como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para Divisão Celular					ENT	Localização da justificativa no apêndice F	
compreender outros conteúdos	compreender os mecanismos geradores de diversidade				PB6	Conteúdo 92	
					PE3	Conteúdo 92	
					DB6	Conteúdo 92	
	compreender os Padrões de Herança					PB2	Conteúdo 86
						PB6	Conteúdo 92
						DB2	Conteúdo 85
						DB3	Conteúdo 92
						DE5	Conteúdo 87 + Conteúdo 92
						DB6	Conteúdo 92
	evitar a desconexão dos conteúdos				DB4	Conteúdo 85	
importância para o cotidiano	lidar com as informações recebidas no cotidiano	lidar com temas relacionados à Biotecnologia			PB6*	Conteúdo 92 = Justificativa geral: conteúdo 63	
					DE5	Conteúdo 87 + Conteúdo 92	
			preparar-se para votar		PE4*	Conteúdo 85	
				DB5*	Conteúdo 85 = Justificativa geral: conteúdo 15		
				DB6	Conteúdo 92 = Justificativa geral: conteúdo 240		
				DB3*	Conteúdo 92		
			desenvolver um raciocínio específico		PB2	Conteúdo 86	
					PB5	Conteúdo 105 = Justificativa geral: conteúdo 45	
	compreender assuntos relacionados à própria saúde e à saúde de seus filhos	compreender a herança de suas próprias características	compreender como as características se manifestam	compreender as anomalias herdadas	compreender o que os médicos dizem	PE4*	Conteúdo 85
						PE1*	Conteúdo 85 = Justificativa geral: conteúdo 2
					PE3*	Conteúdo 85	
				PB4*	Conteúdo 92 = Justificativa geral: conteúdo 4		
		compreender o que ocorre em seu organismo				DB2	Conteúdo 95

Conclusão. Chave de identificação de justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo *Divisão Celular* como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

compreender como o conhecimento científico se constrói			DB5*	Conteúdo 85= Justificativa geral: conteúdo 15
			DB3*	Conteúdo 92
importância do conteúdo dentro da área de conhecimento			DB1*	Conteúdo 97
obrigatoriedade do ensino dos conteúdos	importância de se ensinar os conteúdos do (a) (proposta) currículo(ar) estadual		PB4*	Conteúdo 92
		preparar alunos para testes	PE1*	Conteúdo 85 = Justificativa geral: conteúdo 2

Chave de identificação de justificativas e subjustificativas apresentadas pelos entrevistados para considerar o conteúdo Biotecnologia como básico para ser ensinado a alunos no Ensino Médio ou na *High School* (ENT = Entrevistado; P = Professor; B = Brasileiro; E = Estadunidense; D = Docente; \* = Justificativas gerais, apresentadas a não somente esses, mas a outros conteúdos)

Justificativas e subjustificativas para tópicos ligados à Biotecnologia			ENT	Localização da justificativa no apêndice F
importância para o cotidiano			PB1	Conteúdo 346
			PB3	Conteúdo 346
			DE3	Conteúdo 336
			DB5	Conteúdo 361
			PE5	Conteúdo 336
			PE4	Conteúdo 336 + Conteúdo 365
			DE5	Conteúdo 349 + Conteúdo 336
			DE4	Conteúdo 336
			PB6	Conteúdo 336 + Conteúdo 346
			DE1	Conteúdo 336
			DB5	Conteúdo 346
			DE6	Conteúdo 336
			PB5	Conteúdo 336 = Justificativa geral: conteúdo 45
			PB2	Conteúdo 346
Permite conectar é ensinado na escola com o cotidiano do aluno			DB4	Conteúdo 337
Despertar o interesse do aluno com relação à genética			DB1	Conteúdo 337
			PB5	Conteúdo 336
compreender como o conhecimento científico se constrói			DB5*	Conteúdo 346 = Justificativa geral: conteúdo 15
obrigatoriedade do ensino dos conteúdo	importância de se ensinar os conteúdos do (a) (proposta) currículo(ar) estadual		PB4*	Conteúdo 336

**APÊNDICE J - Disciplinas do curso de Bacharelado e Licenciatura em Ciências  
Biológicas da Universidade de São Paulo, que tiveram suas ementas consultadas  
para verificar a bibliografia utilizada**

Código da disciplina	Nome da disciplina
0410113	Diversidade Biológica e Filogenia
BIO0203	Genética
BIO0205	Fundamentos de Biologia Molecular
BIO0208	Processos Evolutivos
BIO0439	Biologia Molecular para o Bacharelado
BIO0500	Evolução: A História de Uma Idéia
BIO0501	Citogenética: do Clássico ao Molecular
BIO0507	Biologia Evolutiva
BIO0509	Genética Prática para os Ensinos Fundamental e Médio
BIO0416	Genética Humana
BIO0438	Evolução Humana: Aspectos Biológicos
BIO0440	Tópicos Avançados em Genética Humana
BIO0503	Bases Genéticas da Determinação e Diferenciação Sexual

**APÊNDICE K – Protocolo da entrevista presencial realizada com um dos autores  
da principal bibliografia de referência**

Interview Protocol Project: Genetics Instruction School Science: Laxity x Rigor in Biology  
Textbooks

Time of interview: 30 min

Date: Dec 1<sup>st</sup>, 2009

Place: Harvard University

Interviewee: Dr. Lewontin

Interviewer: Fernanda Franzolin

Position of interviewee: Author of the reference book

A. Project objectives:

- 1) Determine the opinions of university professors and biology high school teachers regarding what genetics content should be taught at the high school level, and
- 2) Verify how such knowledge is presented in high school textbooks and how distant school content is from academic knowledge.

B. The interview objective: Learn how the reference book was written, and the relationship between its knowledge and the scientific knowledge.

C. Present the consent form for the interviewee.

D. Questions:

**Who decided** to write the book?

2. What was the **objective** for writing the book? Who would be the **target audience**?

3. How the **authors** were chosen?

4. How did you select the **contents**? What **criteria** did you use?

5. What were the **sources** to write the book?

6. Not all contents of a book are subject of agreement among experts. What contents of your book may suffer **disagreements**? Why?

7. What changes would you make in the book for a **next edition**?

E. Thanks the interviewee for the interview.

**APÊNDICE L – Termo de Consentimento Livre Esclarecido elaborado  
para o autor da bibliografia de referência:**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (T.C.L.E)  
(Freely given and informed consent terms)

I, Dr. \_\_\_\_\_ author of the book An Introduction to Genetic Analysis, am being invited to participate in a study about Genetics Instruction School Science: Laxity x Rigor in Biology Textbooks.

The aim of this study is to verify how genetics knowledge is presented in high school textbooks and how distant school content is from academic knowledge.

In this study I will participate as an interviewee, giving information about how the reference book An Introduction to Genetic Analysis was written, and the relationship between its knowledge and the scientific knowledge.

The interviewer informed me that:

1. I can refuse to participate in the interview.
2. At anytime during the interview I am free to ask for additional information about this study.
3. I understand that I will not be compensated for my participation in this interview

The researchers involved in this project are:

Ms. Fernanda Franzolin, Universidade de São Paulo PhD Student.

Phone numbers:

XXX XXX XXXX (EUA)

XX XX XXXX XXXX (Brazil)

XX XX XXXX XXXX (Brazil)

Dr. Nelio Bizzo, Universidade de São Paulo Professor.

Phone number:

XX XX XXXX XXXX (Brazil).

This study is funded by Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

As I know about the content of this document and I understood the aim of this research, I agree on participating in this interview.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, 2009.

\_\_\_\_\_

**APÊNDICE M– Transcrição da Entrevista realizada com o Dr. Richard Lewontin,  
um dos autores da principal bibliografia de referência adotada**

(00:00:35) Interviewer: I would like to know, firstly, who decided to write the book, how the group of authors was formed and what was the objective of the book, what was the target audience.

(00:01:52) Author: This book is now in the ninth edition and the tenth one is been prepared now. But I was not an author in the very first edition. The first edition was by two authors only, they were two Canadians and one of them is still an author, Griffiths, he is one of the two original authors. But after the first edition was published and became clear that the book was of some interest, they thought: “Well, we really need to have some expert on Evolutionary Genetics and Population Genetics. We don’t really know this subject very well and so it would help if in a future edition we would bring onto the team of authors someone who was an expert in Evolutionary Genetics and Population Genetics”. (00:03:09) So they called me up on the phone and said: “Would you like to join us?” (...) (00:03:50) So I was assigned the task in the book of writing a chapter on Population Genetics, a chapter on Quantitative Genetics and a chapter on Evolutionary Genetics. (00:4:00) And the book became a very big success, it was one of the most popular books used for university genetics courses. (...) (00:04:53) But from the beginning I had certain views about what have to be done in the introduction to the book, in the first chapter, having to do about the relation between genes and the organisms. I did not like the idea that was popular, and is still popular that genes make the organism. (...) It is not true that if I know the genes I know the organism. Because the development of the organism depends a lot on the environment. So I insisted on that. They did not like the idea very much, they liked the simplistic idea but I said “I will only participate if we at list put in the first chapter something like that”. So in addition to writing my three chapters I also guided in some way and interfered with the writing of the first chapter. (...) (00:08:10) Suzuki and Griffiths were the two original authors and Suzuki was the expert on development and Griffiths was a general geneticist. (...) (00:08:45) But they felt that they had to bring in someone who was more modern in some aspects of the relationship between gene and the cell and so on. So they brought, in the third edition already, Jeffrey Miller, who was a kind of molecular developmental geneticist. So by the second edition they added Population Genetics, the third edition of the book they added Jeffrey Miller, so they

now had somebody who was a famous popularizer in Genetics and a very well known person who had television stuff. Suzuki was extremely well known in Canada and in the United States, on television and radio talking about Genetics. And Griffiths was a teacher of Genetics and he did not have a distinguished research career, he had done research, he was a book botanist, Suzuki was a zoologist, and had me as a population geneticist and Jeffrey as a kind of a link between Developmental Genetics and Molecular Genetics. (00:10:05) So the whole book was conceived of as a contribution of different people to different aspects of the subject and each one of us who was assigned some chapters to write. Suzuki and Griffiths as the original authors tend to be more influential. (...) (00:10:35) And then the book developed from that, there are many changes of authorship as a consequence of the fact that the group of authors in one time became dissatisfied with what the previous group of authors had been doing, and pressure was put on an author to move out. (...) (00:12:08) And we replaced them for somebody else. So what you see if you look the different editions of this book is a change in the list of authors from edition to edition as the current authors became dissatisfied with one of the group of the current authors. And that is important you understand, this is the book in which all the authors are essentially writing particular chapters, but the other authors are looking to see whether they satisfied with what has been written. (...)

(00:13:40): Interviewer: So these authors that were not participating of the book, didn't they agree on the book or were they not interested in the book anymore?

(00:13:54): Author: They lose the interest, they have other things, they do not care. I can tell you I have been author of this textbook for eight of the nine editions and after all it becomes tedious, there is no longer any creative work and you get old and you have other things to do, so you do less and less, and pretty soon your fellow authors say: "Wait, we need someone else you are not doing the work" It is what is happening to me now. I will not be an author on the next edition (...).

(00:17:45) Author: And another change occurred over time, that is that I became responsible for more chapters than just the Evolution and Population Genetics. In fact I became responsible for the first chapter, I put very strong pressure on my fellow authors to let me write more parts of the first chapter because I thought, we all agree that the first chapter of the textbook can be the most important chapter and introduces all the ideas and the questions and it should be in agreement with what comes in the rest of the book. (00:18:20) And my fellow authors believe that too, and they put on me since I was the one who did not like what they

were writing to write the first chapter. So I would write the first chapter, then they would read it, they would add some things, they would take out something, and the first chapter was a more joint enterprise, but I was responsible for it. (...) (00:18:48) But you do have to understand that the book in the large part is the result of individual writers taking responsibility for sections of the book and the other authors read those sections and make suggestions and eventually it comes to the point that the other authors are so unhappy with what one author was writing that they ask this writer to go away. And the only person left is Griffiths, who started in the very beginning. (...).

(00:20:03) Interviewer: When the authors decided to write the book what kind of people did they think it would be sold for? For undergraduate students?

Autor: (00:20:30) Oh yes. The book was designed for the general course in Genetics at the undergraduate level. (...) (00:20:43) So at the Harvard usually biology students take Genetics either as a second or third year students and this is the book that they would use. And for a long time, I do not know now, but for a long time it was the leading book selling, I mean, the book that sold the most over the United States and it still has a very large market in Europe and South America. (...) (00:21:32) I have to tell you: in order to read intelligently the modern/ the most recently edition of this book you must be about what the student already knows some Molecular Genetics and things of that kind because there are a lot of uses made of this kind of/ human genome, and you are expected to be familiar with some aspects of DNA. This is not the most elementary kind of book. For some time the authors also published another book which was made for a more elementary, less detailed audience of students. Again they would be undergraduate at university, but they would be undergraduates who were not really knowledgeable about Biology in general, they would not be biology students, they might be general students that were taking the course in a lower level. And we have such book, we do not publish it anymore, but for two or three editions we published the book and it is worthwhile for you to look at that other book, it is called Modern Genetic Analysis. (...) (00:23:21) It was much less detailed and depended less on the biological knowledge. So the professor would choose between them depending on what the professor thought the students' preparation was. And this book is no longer published.

(00:23:48) Interviewer: And how do you and the other authors select the contents?

(00:23:55) We all agree that genetics fell into to certain categories, basic Mendelian genetics and so on, and the application of those basic genetics principles to development, to

physiology of the organism and to evolution. So those are the general subjects. The book is organized in that way. You have Mendelian analysis, chromosome theory of inheritance, more Mendelian analysis, linkage, all this, basic gene mutation and so on. (00:24:50) That was sort of basic Genetics, which then and then we begin with the structure of DNA and so on. But that was early, this is the fifth edition. By the ninth edition DNA is already the very beginning as the field develops the order of the presentation of the material. So, yes, we have Transmission Genetics, but early on, in the first chapter we already talks about DNA, because everybody knows about DNA. But again you see Transmission Genetics, the basic, then from DNA to phenotype, which is then development and physiology, so we have how the DNA is transcribed into RNA, and proteins and genetic control development and some and then mutation/variation, mutation from population quantitative Evolutionary Genetics, and then we have some special stuff in techniques. (00:25:53) So the general structure thinking about it was that although we don't do it entirely historically, it is not that Mendel has to come first for (we build it up) from the simple rules of inheritance through chromosomes and stuff like that, differences like the genetics of bacteria and virus, which do not have in Mendelian Genetics and then from then on we get away from the mechanical aspects of gene and where the gene (inheritance) is to the molecular to developmental, molecular developmental and evolutionary population. (00:26:45) That is that! If you look at the contents that explains pretty much the way we think about. And that develops slowly, so in the different editions have a different assignment. (...)

(00:27:07) Interviewer: But when you choose this content, what comes to your mind? (...) How would you justify the choice of these topics?

(00:27:42) Author: This is done by, in fact, the authors of each new edition of the book met together for a couple of days and discussed how what new things we should put in the book. Much of this book is result of a joint agreement of the authors on what each author should put in his or her chapters. Sometimes there would be a disagreement, for example, I did not always agree about what should be in the Population Genetics chapter but since I was responsible I had to put that in. But if they want some in those chapters I would put it in. So, in the general ways, we have a discussion, each one of us would put into his or her part things that the other colleagues thought that was important, but we also put in things that maybe only that person thought that is important. So it is a kind of negotiation.

(00:28:45) Interviewer: And, do you know the justification for choosing one topic and not another one? (...)

(00:29:04) Author: This is a very hard question because I do not think the authors thought very much about these justifications. Each author had a view of what was important in Genetics, partly based on the current state of the research in Genetics. And each had that view which was different from what the other thought. So I would have arguments for the other people saying well I think is not so important, that it is more important. And what I would argue about it, It was strongly influenced by the research community into which each author fell, what those people read, what they thought that the students should know, and, as I say, we try to reach some compromise and agreement, but I do not think I could answer more specifically than that. And sometimes two authors would get together without the others and say, these fellows are not doing what we want, we should push them to do this. (00:30:07) There was a lot of a typical politics involved and disagreement, negotiation and so on, because each one of us had a clear idea of what each one thought was important in Genetics. I had my idea what students should know, understand Evolution, understand Population Genetics and I would insist on putting those in the chapters but the others would say: "Ah, yes, put, but you must also put this and that and that and that".

(00:30:42) Interviewer: And do you think that you and the other authors have some preoccupation about the students that are studying to become teachers at High School?

(00:31:05) Author: No, we did not think about that particular point. What we did do, however, and it is important because the publisher also wants to know this, we had questionnaires sent up to students who had taken the course and used the book, and asked a lot of questions about what is difficult to understand, what are the most difficult things, what are the easiest things, what interested you, what did not interested you and what you thought that you would like to know and we did not tell you and so on. So we received after each publication a lot of feedback from students and from teachers. We are interested to know what the professors who are teaching the course thought the book was good at, was bad at, what they need, what they did not need. We also ask for usage statistics, which chapters that were assigned in the course. (00:31:57) And there was a big difference between different chapters and how much they were used in the genetics courses. I can tell you, but the chapters on Evolutionary and Population Genetics were the least used of all the chapters. If the professor would have no time the one thing that he would leave behind, leave out, was Evolutionary Genetics and

Population Genetics. First of all, the Population Genetics chapter and the Population Genetics in general requires a certain amount of knowledge about statistics and ability to manipulate simple mathematical expressions and so most students do not like that and can't do it. We finally agreed after a while that there should be for the statistics which we also have to have made for Mendelism. It is the difference between what you observed and (thought ) one ratio statistically significant. I wrote a special addendum chapter on elementary statistics. (...) (35:10) We recognized that in the regular courses of Genetics the professors had their own understanding about what was most important and less important and they regarded DNA and the Molecular Genetics as the most important, Developmental Genetics as the next most important, Population Genetics is the least important. And that is shown on the questionnaires that we sent up. So we had to decide whether we wanted to write the book which was a complete book of Genetics, which we did decide even if those chapters were not used a lot, but also what we tried to do was to introduce, for example, in the chapter of Quantitative Genetics, more information, more studies trying to localize the genes by molecular techniques, to localize the genes that are important in high and new way. (...) (00:36:37) So we are always sensitive to what the users of the book want and we make changes. But, of course, each author also teaches Genetics and therefore has his or her own opinion about what is important. So it is some compromise. (00:37:35) (...)

(00:38:05) Interviewer: What sources do the authors use to write the book? (...)

(00:38:14) Author: That is a very hard question for me. When I am writing a particular section, for example on localizing genes that are related to the quantitative characters, I would look in the literature for people who had written papers saying: "I wanted to know where the genes were, how they were influencing this quantitative and continuous character, so I did this, I did that and I did that and I did that". And then I read those technical papers which tell me what these people have been reading what they thought about, what the current methods were. So I used that sources, my knowledge in the field and particular papers that were related to particular questions. I did not use other textbooks. (00:39:20) I never look at other textbooks. I looked only at monographs for technical published papers. I cannot speak for my fellow authors. I do not know what sources they used. Again I have the strong impression that most of the inputs that they may introduce in their chapters were reflections of what they were reading in the technical journals. I think that the technical journals had a very big influence. Now, sometimes I would hear from one of the other authors: "Well we know a new textbook

of Genetics that has appeared which is a possible competition for our textbook, and they have a lot of material on subject X, and I think that we should have more material on subject X than we now have". (00:40:15) So other textbooks of Genetics would suggest to us, and the questionnaires that we send up to teachers would suggest to us what we should change in the book, what we should add to the book. And then we would go about doing that by looking at other textbooks, by going back to the technical literature in journals and so on and so for. But most of it is what we have in our heads about the subject. And you that understand that each edition of the book begins with the previous edition and it is altered. (...) (00:41:04) It is based on the previous edition of the book but with changes. Now, when a new author comes, what I mean is that when a new replaces another author, how that author does I am not sure. Usually the chapters are totally rewritten although the new author has the liberty to use some fraction of what was previously from the book. Generally the new author completely rewrites everything. And I do not know what sources again come out their head about what they are teaching. After all, all the authors of this book are teachers and they have been teaching Genetics. For years I taught General Genetics. I have done that by many many years, but I did. (00:41:53) So a lot of sources comes out of their lecture notes, what they think that is important. I do not know what more to say. Each author is familiar with the developments in the technical literature of their field and they developed an attitude and view of what is important in their field, what is the most important, new discoveries have been, and they try to insert that into the next edition of the book.

(00:42:32) Interviewer: You said that not all authors of the book agree with others. And also some researchers also do not agree with some contents. What specific contents of this book do you think that can be criticized, that can have disagreement between the authors, between the researchers?

(00:43:48) Author: It is hard to me to say. Most of the choices that we have to make... when we talk about disagreement are about the content nobody among the authors and anybody has ever said to us what we wrote was wrong. That is not the issue. The issue is always emphasis. Emphasis and order. What we should teach first, what we should teach second, what we should teach third and how much emphasis we should put on some things. Let me go back to something I said at the very beginning. We had disagreements on how important and it was from the very beginning to remind the students that genes do not determine the organism, that the organism is a consequence of the interaction of genes and the environment and

development in all. None of my fellow authors disagree with my claim that the environment is important but they thought that “Just put that aside. We do not care about that”. (...) (00:44:50) And they use a language that is very common: “Genes make something, genes make proteins”. But genes do not make proteins, genes do not make anything. I always use to say, or that the DNA is self reproduced (...) (00:45:12) My fellow authors would say without thinking DNA self-reproduces. Every time I thought that phrase “self reproduce”, I would complain and say “you know what you mean when you say DNA self reproduces, but the students will not understand”. Mainly if I take this paper you have and go upstairs to the copier and put it in the machine and close the lid and press the bottom, and I get a copy, I do not say that the piece of paper self reproduced. I say that a copy of the piece of paper was made by a machine and in my view it is very important to have the students understand that DNA does not have the power to reproduce itself. DNA is reproduced by a machinery of the cell. Information about how the machinery is built is contained in the DNA but by itself DNA is dead. DNA can do nothing. (46:13) DNA in fact is one of the most non reactive molecules in the world. That is why we can recover DNA from fossils and still see the sequence, because it doesn't react with chemicals around it is a very dead stuff. But it has a lot of stuff that the cell uses in the machinery. So we had a lot of fights about language. My claim was that the words that we use go beyond what you think and enter the general notions that people have. So we talk about genes make this, genes self reproduces and so on, because that is popular and most molecular geneticists say that. So a lot of my disagreement with my fellow authors was to try to make them understand that students do not understand those words in the same sophisticated way that they understand, and therefore they will get the wrong information by misunderstanding the word “make copies” and so on. But I do not think that we were ever accused by anyone of giving false information. It is a question of teaching. How you teach things? What words you use to teach. And those are the disagreement between the authors. (00:47:35) Interviewer: Maybe, not related to the false information, but what is polemic information, what is new in the researches and people are researching about it and we do not know so much about how this really happens, I do not know if there is something in the book that is like this. (00:48:11) Author: No, the authors of the book think that what their task is to tell to the students what we do know. There was not much in the book, maybe occasionally you find, but the book was not characterized by saying “well we do not know this, we do not know that, do

not know that and that should be the direction of the research”. No. That is not the way that the book is conceived. If I am writing the book by myself I would put much of that in the book. But teachers do not like that. And students do not like that. Remember, students are using this book to study for an examination, the examination does not ask what we do not know, it asks what we do know. So I am sorry to say the book does not have much of what you just said, and that was a source of disagreement among the authors, because I felt that there should be more emphasis on what we do not know. But my fellow authors, been most molecular geneticists, are (strict) in what we do know and about the wonderful discovers about the DNA and so on.

(00:49:21) Interviewer: And do you think that all the contents of the book are really what the researchers of today agree or do you think that maybe some contents can be some focus of disagreement between the researchers?

(00:49:59) Author: No, I do not think that it would be a focus of disagreement. I think that different researches will regard different things in the book as important and not important. So all this talk about genes and environment, for example, most developmental geneticists and most of all molecular geneticists do not think about the environment, they do not care about it.  
(...)

(00:50:47) Interviewer: Because for me it is important to know if there is something, because as I will compare the content of the high school textbooks with your book, maybe if I look in a textbook and compare the information with your book, and the information is not the same, and if this information of your book can have different points of view.

(00:51:25): Author: I understand the question. Could you give me an example about what our book says which contradicts something?

(00:51:35) Interviewer: Of your book I do not have one but when I was doing my Master Degree I did a similar research and I used two books as reference. I tried to get the information of two books of reference. And one book said something and the other book said another thing, so they had different information. I do not know if in your book you think that some information can have two points of view.

(00:52:26) Author: Again I can back only to the question about what is important or not important. Not any factual issues. (...) (00:52:55) It is entirely possible that in the current edition of such book we say: “we do not know about this”. But the time that the book is published we now know. So that statement will be false until the next edition. But then, in the

next edition the new information would appear. But most of the differences of our book and other books is a question of what is regarded as important or not important.

(00:53:30) Interviewer: So in a next edition, about the correction of the content, do you think that it is necessary to change something or not?

(00:53:55) Author: Well definitely the chapter on Quantitative Genetics which I was responsible for needs a major reorganization and updating. It is very old-fashioned. And I wrote a totally new updated chapter which used techniques that have not been discussed in the previous editions, which has more information about molecular markers, and so on. (...) And it was done because my fellow authors put pressure on me to do that. They said: "Look this chapter is old-fashioned. There has been a lot more work than you suggest, finding the genes that are related to the development of the changes, that are related to quantitative, and you really need to make that chapter better and more up-to-date". And I agreed and I did that. They will not use that chapter now. They will have someone to do that, but I am sure that the new chapter in the new book will have a lot of information about newer techniques involving DNA sequences, that are used in finding the genetic bases of quantitative categorization. They need that. The book needs that. But the book does not say anything wrong is only just behind the times.

(00:55:32) Interviewer: Well, I think that was just it what I needed.

(00:55:38) Author: I would like to make such general statement which has been lurking behind what we've been talking about. I think that the way that this book is written and the whole relationship among the authors is a very constructive way to deal with a textbook. Namely that no author can feel free from the criticism from the other authors. So that laziness is not appreciated. Now, sometimes there are very severe disagreements between the authors. ( The... are there to work those out). But it means that the book is a living moving involving book that has a better chance of being up-to-the-minute and current and so on, than one book which the one author in particular or maybe two authors are writing over over over again the same stuff. First of all only the point of the one author or the two authors would appear in the book. Where is a whole range of material which is not in their interest would not appear. Our book, for example, there is this constant struggle between me and my claims about the relationship between genes and the environment and the organism and my fellow authors who always were molecular biologists and they did not care about these molecular mechanisms. Slowly but surely they changed their worldview about it and I am still learning more about

molecular mechanisms and introducing them into my chapters. So there was a learning on both sides and I think that is very important, because Genetics is a very very broad complicated subject and I do not know any geneticist living who could sit down and write a really good textbook about Genetics. It absolutely requires the input from several people of different interest.

(...)

(01:00:06) Author: I would suspect, but high school textbooks suffer from two contrasting defects, one that they spend more than they should on elementary Mendel, Mendelian Genetics. It is important. But too much time. That is my suspicion. I do not know if it is true. And the other is the opposite of that, they also over simplify the Molecular Genetics, so they take seriously ideas that the genes determine the things, that the DNA has all the information in it so on. (...) (01:01:34) The problem for the textbook writer is to get the interest of the student. So how much popular stuff you put in, how much you leave out. It is a very difficult problem.

(...)

(01:05:20) Interviewer: I would like to know if the knowledge present in your book is a good reference to the scientific knowledge. (...)

(01:06:04) Author: I will try to talk about what happens when knowledge is moved from one level of discourse to the next level of discourse, and from there for the next level of discourse. There are scientific papers written by the people who do the research and they give talks in scientific meetings. All of that material then is translated by the authors of such textbook into a level of discourse which they think that is correct for their consumers, namely the students. And also they are worried about what the teachers think, because they want the book to be adopted. But in that process of moving from the research papers to the scientific textbook big work is done about point of view, about/ and specially in using metaphors. Metaphors are extremely important in writing and they appear all the time and I want to emphasize because it goes next to the next high school textbook. What people say when they are speaking to audience 1 is understood by that audience in different way than when they say exactly the same thing to audience 2. So, if a molecular geneticist says that this gene makes that protein, and that geneticist is speaking to an audience of molecular geneticists, those molecular geneticists are familiar with the whole sequence of knowledge which is not stated in that statement: "Genes X make that". They think from genes to the transcription for the RNA,

from the RNA into protein, and so on. But if that same statement is made to a more general audience, they cannot do that. And they hear the words exactly as they are said “genes make the proteins”. And always we are facing this problem of communication. Now part of the struggle about writing this book is to make sure that the book explains in great detail, what actual mechanisms are contained in the statement “gene makes protein” or “gene determines that character”. This book now is used as a basis for writing a high school textbook, the same language gets put in “genes determine the character”, “DNA makes the organisms”, “DNA makes protein” or “determines the protein”. And all the details are gone. Details which the reader would have to have in order to be able to turn that metaphor of the DNA as self-reproducing, all the information which is in my head when I say that, would not be in the head of high school students who read that statement. And the result is that as you move down in the level of sophistication of knowledge the meaning attributed to certain statement by the consumer of those changes. And the result is that most people that take biology course in high school level think that if I know your genes, I know everything about you because it was what they have learned. Because it was what their textbook said. Why did that textbook say that? Because the writer of that textbook read this book. Why did the writer of this textbook say that? Because, yes, if you read all the word of the textbook you will understand all the steps. (01:10:35) So I think the problem of the metaphor is extremely important in understanding what high school students take out of their textbooks, what those textbooks took out of the textbooks that their writers used to write, and what the writers of the textbook got from literature and so on. So I think that it is a very very important issue in your research. Mainly how the results of the research are translated into knowledge in the mind of high school students. And not forget that between that research and those high school students there is this book and the high school textbook, and so on so far. One has to be very very careful about that. For me, I think that it is the most important issue is to understand the structure of the language and the metaphor.

(01:12:30) So what do you mean about “be careful”?

(01:12:36) You need to be careful about the language, the metaphors.

(01:12:45) Metaphors of your book or the school book?

(01:12:48) First of this book and then of the high school textbook. You have to be very careful because we cannot speak without metaphors we cannot write without metaphors. I talk about a machinery of the body, I talk about a machinery of making information for the DNA

and turning into the structure of a protein. And I say there is a machinery, and it is a metaphor. The information of the DNA, the word information is a metaphor. (...) (01:13:55)

And what we have to be concern about, when we try to understand how the high school student understands the world, we have to understand what the metaphors used in the textbooks, how they would be understood by the high school student. So if I am a high school student, and I read that this DNA sequence determines the protein what do I understand about that. That is what I am trying to say. And I am trying to tell you that you will have that problem already in this level.

**APÊNDICE N – Livros didáticos aprovados na Avaliação do Programa Nacional do Livro Didático de 2007, utilizados como amostra de livros para análise nesta pesquisa**

Código na amostra	Editora	Autores	Título	Edição
LDA	Moderna	José Mariano Amabis e Gilberto Rodrigues Martho	Biologia	2a Edição – 2005
LDB	IBEP	Augusto Adolfo, Marcos Crozetta e Samuel Lago	Biologia – Coleção Vitória Regia	2a edição – 2005
LDC	Moderna	José Arnaldo Favaretto e Clarinda Mercadante	Biologia	1a edição – 2005
LDD	Scipione	Oswaldo Frota-Pessoa	Biologia	1a Edição – 2005
LDE	Nova Geração	J. Laurence	Biologia	1a edição – 2005
LDF	Ática	Sérgio Linhares e Fernando Gewandsznajder	Biologia	1a edição – 2005
LDG	Saraiva	Sônia Lopes e Sergio Rosso	Biologia	1a edição – 2005
LDH	Ática	Wilson Roberto Paulino	Biologia	1a Edição – 2005
LDI	Saraiva	César da Silva Júnior e Sezar Sasson	Biologia	8a Edição – 2005

**APÊNDICE O – Livros didáticos utilizados por professores entrevistados em Kalamazoo, utilizados como amostra de livros para análise nesta pesquisa**

Código na amostra	Editora	Autores	Título	Edição
LDJ	Holt, Rinehart and Winston	John H. Postlethwait e Janet L. Hopson	Modern Biology	2009
LDK	Glecoe	Alton Biggs <i>et al.</i>	Biology	2009
LDL	Prentice Hall	Kenneth R. Miller e Joseph Levine	Biology	2008
LDM	Holt, Rinehart and Winston	George B. Johnson e Peter H. Haven	Biology	2006

## APÊNDICE P - Distanciamentos analisados na amostra selecionada e na geral

Distanciamentos classificados na categoria *entraves à compreensão de conhecimentos centrais* (ec)
  Distanciamentos classificados em outras categorias

	Conhecimento de Referência	Livros didáticos de Ciências e Biologia	
Meiose	3.2.1.33	Na primeira divisão da meiose, os <i>homólogos</i> encontram-se aos pares ao estarem dispostos no equador da célula	Na primeira divisão da meiose, os <i>bivalentes</i> encontram-se aos pares ao estarem dispostos no equador da célula
	3.2.1.43	<i>Em alguns organismos</i> , os cromossomos homólogos descondensam-se ao atingirem os polos opostos, durante a primeira divisão da meiose	Os cromossomos homólogos descondensam-se ao atingirem os polos opostos, durante a primeira divisão da meiose
	3.2.1.51	Cromossomos homólogos que migram para os polos opostos e formam novas células, durante a primeira divisão da meiose, <i>podem não ser idênticos</i>	Cromossomos homólogos que migram para os polos opostos da célula, durante a primeira divisão da meiose, são <i>idênticos</i>
Leis de Mendel	3.2.2.1	A linhagem pura é aquela que, quando cruzada consigo mesma, produz indivíduos <i>iguais quanto ao fenótipo em questão</i>	A linhagem pura é aquela que, quando cruzada consigo mesma, produz <i>indivíduos iguais a si</i>
	3.2.2.8	Os fatores mendelianos são o que hoje denominamos de <i>gene</i>	Os fatores mendelianos são o que hoje denominamos de <i>alelos</i>
	3.2.3.15	A segregação independente pode ocorrer em genes localizados no mesmo cromossomo, se houver uma longa distância entre eles	A segregação independente ocorre apenas em pares de genes localizados em diferentes pares de cromossomos.
Expressão Gênica	3.2.4.22	Um gene ou um cístron pode produzir <i>um ou mais</i> tipos de polipeptídios	Cada gene é responsável pela produção de <i>um</i> polipeptídio
	3.2.4.233	A expressão gênica pode ter como produto final um RNA funcional ou uma proteína	A expressão gênica é a expressão do DNA para RNA para proteína
	3.2.4.60	O códon AUG é, <i>na maior parte das vezes</i> , o códon de início	O codon AUG é o códon de início

**ANEXOS**

**ANEXO A – Lista de conteúdos relacionados à área de Genética elaborada para ser apresentada aos entrevistados caso estes necessitassem de suporte**

Lista de apoio contendo os conhecimentos que o aluno deve ter ao final do Ensino Médio, segundo os PCNEM, ENEM e a FUVEST

Conhecimentos relacionados à área de Genética que devem ser abordados no Ensino Médio, segundo os PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio):

- descrição do material genético em sua estrutura e composição;
- explicação do processo da síntese proteica;
- relação entre o conjunto proteico sintetizado e as características do ser vivo;
- identificação e descrição dos processos de reprodução celular;
- leis da herança mendeliana e algumas de suas derivações, como alelos múltiplos, herança quantitativa e herança ligada ao sexo, recombinação gênica e ligação fatorial;
- tecnologias de clonagem, engenharia genética e outras ligadas à manipulação do DNA;
- aspectos éticos, morais, políticos e econômicos envolvidos na produção científica e tecnológica, bem como na sua utilização.

Conhecimentos relacionados à área de Genética que devem ser abordados no Ensino Médio, segundo o ENEM 2008 (Exame Nacional do Ensino Médio):

- analisar, do ponto de vista biológico, físico ou químico, padrões comuns nas estruturas e nos processos que garantem a continuidade e a evolução dos seres vivos.

Conhecimentos relacionados pelo programa da Fuvest (manual do candidato – vestibular 2009):

- a continuidade da vida na terra: hereditariedade e natureza do material hereditário.

O candidato deve:

- (a) compreender as relações entre DNA, gene e cromossomo, reconhecendo que genes são segmentos discretos de moléculas de DNA com informações genéticas codificadas em sua sequência de bases nitrogenadas;
- (b) relacionar a segregação e a segregação independente com os eventos cromossômicos que ocorrem na meiose;
- (c) compreender como as informações genéticas codificadas no DNA fornecem instruções para a fabricação de proteínas e como estas, ao definirem a estrutura e o funcionamento das células, determinam as características dos organismos;
- (d) conhecer o princípio básico de duplicação do DNA e que este pode estar sujeito a erros – mutações – que originam novas versões (alelos) do gene afetado;
- (e) compreender que mutações ocorridas em células germinativas podem ser passadas para as gerações futuras;
- (f) conhecer o emprego tecnológico da transferência de genes, reconhecendo que a manipulação laboratorial do DNA permite a identificação de indivíduos, o estabelecimento de relações de parentesco entre eles e a transferência de genes entre organismos de espécies diversas, originando os chamados transgênicos;
- (g) saber avaliar as vantagens e desvantagens dos avanços das técnicas de clonagem, de manipulação do DNA e dos “Projetos Genoma”, considerando valores éticos, morais, religiosos, ecológicos e econômicos.

Tópicos:

- As bases moleculares da hereditariedade:

estrutura do DNA;

código genético e síntese de proteínas;

mutação gênica e a origem de novos alelos.

- Fundamentos da Genética Clássica:

conceito de gene e de alelo;

as leis da segregação entre genes e cromossomos;

meiose e sua relação com a segregação e com a segregação independente; conceito de genes ligados;

padrão de herança de genes ligados ao cromossomo sexual;

- Manipulação genética e clonagem: aspectos éticos, ecológicos e econômicos.

**ANEXO B – Significado das normas e códigos utilizados durante a transcrição.****Adaptado de Preti (1997) e Carvalho (2007)**

(00:00:00)	Hora, minuto e segundo de transcrição (marcador temporal)
E:	Fala do entrevistador
PB:	Fala do Professor Brasileiro (seguido do número de identificação, Ex: PB3)
PE:	Fala do Professor Estadunidense (seguido do número de identificação, Ex: PE3)
DB:	Fala do Docente Brasileiro (seguido do número de identificação, Ex: DB3)
DE:	Fala do Docente Estadunidense (seguido do número de identificação, Ex: DE3)
(...)	Período não transcrito (utilizado quando trechos considerados não relevantes para o propósito da apresentação da transcrição foram eliminados).
...	Pausas (Com o objetivo de facilitar a leitura das transcrições, não se utilizaram reticências para substituir a pontuação comum à língua escrita, como ponto final e vírgula. As reticências foram utilizadas apenas para mostrar momentos de silêncio entre os interlocutores ou pausa no caso de frases não completas, pois se acredita que estas sim devem ser registradas de forma diferenciada, tornando-se aparentes.)
( )	Inserção de hipóteses do que foi ouvido.
(hipótese)	Hipótese do que se ouviu
/	Truncamento de palavras
Maiúsculas	Entonação enfática
.....	Prolongamento de vogal ou consoante
(( ))	Comentário da pesquisadora
( [ ] )	Simultaneidade de vozes
grifo	Para nomes de obras ou nomes comuns estrangeiros

**ANEXO C – Lista de bibliografia de referência selecionada para analisar aproximações e distanciamentos entre os conteúdos de Genética presentes nos livros didáticos e o conhecimento acadêmico**

Alberts, B.; Bray, D.; Lewis, J; Raff, M.; Roberts, K.; Watson, J. D. **Molecular Biology of the Cell**. 4th Edition, Garland, New York & London, 2002.

Ayala F.J. **Science Evolution and Criationism**. National Academy of Science & Institute of Medicine, 2008.

Bowler P.J. **The eclipse of Darwinism**. The Johns Hopkins University Press – Baltimore.

Bowler, PD **Evolution – The History of an Idea**. University of California Press, 2003.

Brown TA **Genomes**. Wiley-Liss, 2nd Edition, 2002.

Browne J **A Origem das Espécies de Darwin (Uma Biografia)**. Jorge Zahar Editor Ltda, 2007.

Falconer D. **An introduction to Quantitative Genetics**, Longman, 1989.

Foley R. Another Unique Species. **Patterns in Human Evolutionary Ecology**. Longman Scientific & Technical, Essex, 1987

Griffiths; Wessler; Lewontin; Gelbart; Suzuki; Miller . **Introdução à Genética**. Oitava Edição, Editora Guanabara-Koogan S.A., 2006

Henig R M **O Monge no Jardim**. Editora Rocco Ltda, 2001

Jorde LB, Carey JC, Bamshad MJ, White RL. **Genética Médica**. Elsevier Editora Ltda, RJ, 2004 (Tradução da 3a edição americana).

Keynes R. **Aventuras e descobertas de Darwin a bordo do Beagle**. Jorge Zahar Editor Ltda, 2004

Klein RG. **The Human Career. Human Biological and Cultural Origins**. Univ. of Chicago Press, Chicago, 1989.

Levin B. **Genes IX**. Jones & Barlet Pub., Boston, Toronto, London, Singapore, 2008.

Lodish; Berk; Matsudaira; Kaiser; Krieger; Scott; Zipursky; Darnell. **Molecular Cell Biology**. 5th Edition. WH Freeman & Co., New York, 2004

Matioli S. R. **Biologia Molecular e Evolução**. Holos Editora, Ribeirão Preto, 2006.

Mayr E. **The growth of biological thought.** The Belknap Press/Harvard University Press – Cambridge, 1982

Nelson H, Jurmain R. **Introduction to Physical Anthropology.** West Pub. Co., St. Paul, 1988

Nussbaum RL, McInnes RR, Willard HF – **Thompson & Thompson Genética Médica** (tradução PA Motta). 6a Edição. Guanabara Koogan SA. Rio de Janeiro, 2002.

Quammen, D. **As dúvidas do Sr. Darwin.** Companhia das Letras, 2007

Moore JA. **Science as a way of knowing: the foundations of modern biology.** Harvard University Press – Cambridge, 1993

Ridley M. **Evolution.** Blackwell Science, Cambridge, 2nd Ed., 1996.

Stein PL, Rowe BM. **Physical Anthropology.** McGraw-Hill, New York, 1993.

Strachan T; Read AP **Human Molecular Genetics.** Garland Science, Londres, 3a edição, 2004.

Strachan T e Read A. P. **Human Molecular Genetics 3.** Garland Publishing, Abingdon, 2004.

Vogel F, Motulsky A. G. **Genética Humana.** Guanabara-Koogan, RJ, 3a edição, 2000.

Watson; Baker; Bell; Gann; Levine; Losick. **Biologia Molecular do Gene.** Quinta Edição. Artmed Editora S.A, 2006

Zimmer, C. **À beira d'água: a macroevolução e a transformação da vida.** Jorge Zahar Editora. – Rio de Janeiro, 1999

**ANEXO D - Unidades de registro não consideradas na contagem frequencial devido à ausência de conhecimento correspondente na bibliografia de referência adotada.**

**Divisão celular – Meiose**

**Primeira Divisão**

- Os genes de um cromossomo estão alinhados com os genes correspondentes do cromossomo homólogo durante a sinapse:

“In each tetrad, chromatids of the homologous chromosomes are aligned lengthwise so that the genes on one chromosome are adjacent to the corresponding genes on the other chromosome” (LDJ, p. 161).

- As quiasmas deslizam para as extremidades das cromátides:

“Os cromossomos homólogos começam a se afastar um do outro. Onde ocorreu crossing-over, aparecem estruturas em X denominadas quiasmas, que deslizam para as extremidades das cromátides (terminalização dos quiasmas)” (LDC, p. 105).

- Os homólogos atingem seu grau de condensação máximo ao se encontrarem no equador da célula:

“Emparelhados, os cromossomos homólogos ocupam o equador celular, presos a fibras do fuso acromático, atingindo condensação máxima” (LDC, p.105).

- Os homólogos se orientam ao acaso com relação ao pólo da célula com relação ao qual cada um está orientado:

“(...) The orientation of the pair of chromosomes is random with respect to the poles of the cell (...)” (LDJ, 162).

- O alongamento dos cromossomos, ao atingir os pólos, é parcial:

“Nos pólos, os cromossomos descondensam-se apenas parcialmente, enquanto uma carioteca se refaz em torno de cada conjunto cromossômico. [...]” (LDC, p. 106)

- Os nucléolos reaparecem:

“[...] Reaparecem os nucléolos, desorganiza-se o fuso acromático e os centríolos duplicam-se. [...]” (LDC, p. 106).

- Desorganiza-se as fibras do fuso:

“[...] Reaparecem os nucléolos, desorganiza-se o fuso acromático e os centríolos duplicam-se. [...]” (LDC, p. 106).

- Os centríolos duplicam-se:

“[...] Reaparecem os nucléolos, desorganiza-se o fuso acromático e os centríolos duplicam-se. [...]” (LDC, p. 106).

## **Segunda Divisão**

- A segunda divisão da meiose ocorre em cada uma das duas células formada na meiose I

“Meiosis II occurs in each cell formed during meiosis I and is not preceded by the copying of DNA” (LDJ, p. 163).

- Migração dos centríolos para os pólos da célula:

### “Prófase II

Os cromossomos condensam-se, desaparecem os nucleolos, os centriolos duplicados ocupam pólos opostos na célula e surge o fuso acromático. [...]” (LDC, p. 106).

- Cromossomos estão em grau máximo de espiralização quando dispostos na região equatorial da célula

“Na **prófase II**, que é bastante rápida, o envoltório nuclear é removido e forma-se um novo fuso, seguindo-se as três últimas fases do processo como na mitose normal: uma **metáfase II**, onde os cromossomos encontram-se no centro da célula com grau máximo de espiralização, uma **anáfase II** com a separação das cromátides-irmãs para os pólos da célula, diferente da anáfase I onde os homólogos se separam, e finalmente uma **telófase II**, dividindo as duas células resultantes da meiose I em quatro células-filhas haplóides” (LDB, p. 85).

- Dispostas na região equatorial cada cromátide voltada-se para um dos pólos da célula

(...). In metaphase II (step 6) the chromosomes move to the midline of the dividing cell, with each chromatid facing opposite poles of the dividing cell. (...) (LDJ, p. 163).

- Dois núcleos filhos são organizados em cada célula

“As cromátides-irmãs são puxadas para pólos opostos, onde se organizamos núcleos-filhos, dois em cada célula (...)” (LDA, v. 3, p. 10).

- A meiose produz células geneticamente diferentes da célula diplóide

“Meiosis, on the other hand, begins with a diploid cell but produces four haploid (N) cells. These cells are genetically different from the diploid cell and from one another. [...]” (LDL, p. 278).

### **Padrões de Herança: Primeira lei de Mendel**

- Os gametas formados pelos indivíduos puros da geração parental herdam um alelo para cada característica analisada

“[...] Remember that each plant in the F<sub>1</sub> generation was formed by the fusion of a gamete carrying the dominant *RY* alleles with another gamete carrying the recessive *ry* alleles” (LDL, p. 271).

### **Expressão Gênica (Síntese protéica)**

- Para separar os dois filamentos do DNA, a RNA polimerase quebra as pontes de hidrogênio que os une

“Inicialmente, a RNA polimerase rompe as pontes de hidrogênio de uma determinada seqüência da molécula de DNA que vai ser transcrita (gene ativo), [...]” (LDB, p. 71).

- Final do percurso do ribossomo

“[...] O ribossomo encaixa-se em uma das extremidades do RNAm e o percorre até a outra extremidade. [...]” (LDA, v. 1, p. 253)

- Após a liberação os componentes da maquinaria de tradução pode ser reutilizada para traduzir outro mRNA

“During step 5, the components of translation come apart. The last tRNA leaves the ribosome, and the ribosome moves away from the mRNA. The translation machinery is now free to translate the same or another mRNA” (LDJ, p. 209).

## ANEXO E – Conhecimentos sobre divisão celular apresentados por livros didáticos de Ensino Médio analisados

### Citações mencionadas na seção 3.2.1.1

A meiose (do grego *meiosis* = divisão ao meio) caracteriza-se pela formação de células haplóides ( $n$ ), gametas nos animais e esporos nos vegetais, a partir de células diplóides ( $2n$ ), reduzindo à metade o número de cromossomos nas células-filhas (LDB, p. 83).

A meiose é um tipo de divisão celular em que uma célula-mãe origina quatro células-filhas, com o número de cromossomos reduzido à metade. [...] (LDC, p. 105).

The second type of cell division that you will learn about (in the next section) is called meiosis. [...] (LDJ, p. 155).

Gametes are formed during a process called **meiosis**, which is a type of cell division that reduces the number of chromosomes; [...] (LDK, p. 271).

### Citações mencionadas na seção 3.2.1.3

A meiose (do grego *meiosis* = divisão ao meio) caracteriza-se pela formação de células haplóides ( $n$ ), gametas nos animais e esporos nos vegetais, a partir de células diplóides ( $2n$ ), reduzindo à metade o número de cromossomos nas células-filhas (LDB, p. 83).

A meiose é um tipo de divisão celular em que uma célula-mãe origina quatro células-filhas, com o número de cromossomos reduzido à metade. [...] (LDC, p. 105).

[...] Meiosis reduces the chromosome number by half in new cells. [...] (LDJ, p. 155).

[...]While mitosis maintains the chromosome number, meiosis reduces the chromosome number by half through the separation of homologous chromosomes. A cell with  $2n$  number of chromosomes will have gametes with  $n$  number of chromosomes after meiosis [...] (LDK, p. 271).

How are haploid (N) gamete cells produced from diploid (2N) cells? That's where meiosis (my-OH-sis) comes in. Meiosis is a process of reduction division in which the number of chromosomes per cell is cut in half through the separation of homologous chromosomes in a diploid cell (LDL, p. 175).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.5**

A meiose (do grego *meiosis* = divisão ao meio) caracteriza-se pela formação de células haplóides ( $n$ ), gametas nos animais e esporos nos vegetais, a partir de células diplóides ( $2n$ ), reduzindo à metade o número de cromossomos nas células-filhas (LDB, p. 83).

Nos animais, a meiose origina os gametas (células reprodutoras). [...] (LDC, p. 105).

In animals, meiosis produces gametes, which are haploid reproductive cells. Human gametes are sperm cells and egg cells [...] (LDJ, p. 161).

Gametes are formed during a process called **meiosis**, which is a type of cell division that reduces the number of chromosomes; [...] (LDK, p. 271).

In male animals, the haploid gametes produced by meiosis are called sperm. In some plants, pollen grains contain haploid sperm cells. In female animals, generally only one of the cells produced by meiosis is involved in reproduction. This female gamete is called an egg in animals and an egg cell in some plants (LDL, p. 278).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.9**

A meiose (do grego meiosis = divisão ao meio) caracteriza-se pela formação de células haplóides ( $n$ ), gametas nos animais e esporos nos vegetais, a partir de células diplóides ( $2n$ ), reduzindo à metade o número de cromossomos nas células-filhas (LDB, p. 83).

[...] Assim, uma célula-mãe diplóide ( $2n$ ), por exemplo, forma, por meiose, quatro células-filhas haplóides ( $n$ ) (LDC, p.105).

In animals, meiosis produces gametes, which are haploid reproductive cells. Human gametes are sperm cells and egg cells [...].

[...] Because cells undergoing meiosis divide twice, diploid ( $2n$ ) cells that divide meiotically result in four haploid ( $1n$ ) cells rather than two diploid ( $2n$ ) cells. [...] (LDJ, p. 161).

[...] Meiosis produces haploid gametes (LDK, p. 268).

Meiosis, on the other hand, begins with a diploid cell but produces four haploid ( $N$ ) cells (LDL, 278).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.11**

[...] Cada homólogo duplicado durante a interfase une-se a seu par pelas sinapses, formando um bivalente, que mostra quatro cromátides bem visíveis, isso já no paquíteno [...] (LDB, p. 84).

A meiose, que consiste em duas divisões celulares consecutivas (figura 10), ocorre depois de uma interfase, em cujo período S, o material genético é duplicado, como acontece na interfase que antecede a mitose. [...] (LDC, p.105).

The *cell cycle* is the repeating set of events in the life of a cell. Cell division is one phase of the cycle. The time between cell divisions is called **interphase**. Interphase is divided into three phases, [...]

[...] During the S phase, the cell's DNA is copied (synthesized). [...] (LDJ, p. 155).

Cells that undergo meiosis also go through interphase as part of the cell cycle. Cells in interphase carry out various metabolic processes, including the replication of DNA and the synthesis of proteins (LDK, p. 272).

**Meiosis I** Prior to meiosis I, each chromosome is replicated (LDL, p. 276).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.15**

A meiose consta de duas divisões celulares consecutivas, denominadas de divisão I e II, [...] (LDB, p. 83).

A meiose, que consiste em duas divisões celulares consecutivas (figura 10), ocorre depois de uma interfase, em cujo período S, o material genético é duplicado, como acontece na interfase que antecede a mitose. [...] (LDC, p.105).

[...] Because cells undergoing meiosis divide twice, diploid ( $2n$ ) cells that divide meiotically result in four haploid ( $1n$ ) cells rather than two diploid ( $2n$ ) cells. The stages of the first cell division are called *meiosis I*, and the second cell division are called *meiosis II* (LDJ, p. 161).

Meiosis usually involves two distinct divisions, called meiosis I and meiosis II (LDL, p. 176).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.17**

[...] Cada cromossomo emparelha-se com seu homólogo. Sinapse é o nome desse emparelhamento, e cada par de homólogos pareados é chamado bivalente ou tetrade (LDC, p. 105)

[...] Notice that every chromosome lines up next to its homologue. The pairing of homologous chromosomes, which does not occur in mitosis, is called **synapsis**. [...] (LDJ, p. 161).

In prophase of meiosis I, however, each chromosome pairs with its corresponding homologous chromosome to form a structure called a **tetrad** (LDL, 276).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.19**

[...] Cada homólogo duplicado durante a interfase une-se a seu par pelas sinapses, formando um bivalente, que mostra quatro cromátides bem visíveis, isso já no paquíteno. [...] (LDB, p. 84).

[...] Cada cromossomo emparelha-se com seu homólogo. Sinapse é o nome desse emparelhamento, e cada par de homólogos pareados é chamado bivalente ou tetrade (LDC, p. 105).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.20**

[...] Cada cromossomo emparelha-se com seu homólogo. Sinapse é o nome desse emparelhamento, e cada par de homólogos pareados é chamado bivalente ou tetrade (LDC, p. 105).

[...] The pairing of homologous chromosomes, which does not occur in mitosis, is called **synapsis**. Each pair of homologous chromosomes is called a **tetrad**. [...] (LDJ, p. 161).

### Citações mencionadas na seção 3.2.1.21

Os cromossomos, já duplicados, iniciam sua condensação. [...] (LDC, p. 105)

[...] As cell enters prophase I, the replicated chromosomes become visible. [...] As the homologous chromosomes condense, they begin to form pairs in a process called synapsis (LDK, p. 272).

### Citações mencionadas na seção 3.2.1.22

[...] Cada cromossomo emparelha-se com seu homólogo. Sinapse é o nome desse emparelhamento, e cada par de homólogos pareados e chamado bivalente ou tetrade.

Entre as cromátides de cromossomos homólogos, podem ocorrer trocas de fragmentos. Esse fenômeno é denominado **permutação** ou *crossing-over* (LDC, p. 105).

During synapsis, the chromatids within a homologous pair twist around one another, [...]. Portions of chromatids on the homologous chromosome may break off and attach to adjacent chromatids on the homologous chromosome – a process called **crossing-over**. [...] (LDJ, p. 162).

Notice that in **Figure 10.4** the purple and green chromosomes have exchanged segments. This exchange occurs during synapsis. **Crossing over** is a process during which chromosomal segments are exchanged between a pair of homologous chromosomes (LDK, p. 272).

As homologous chromosomes pair up and form tetrads in meiosis I, they exchange portions of their chromatids in a process called crossing-over. [...] (LDL, p. 276)

**Citações mencionadas na seção 3.2.1.25**

The results of crossing over are new combinations of genes (LDK, p. 272).

Crossing-over, shown in Figure 11-16, results in the exchange of alleles between homologous chromosomes and produces new combinations of alleles (LDL, p. 276).

**Citação mencionada na seção 3.2.1.28**

Os centríolos, duplicados na interfase, migram para polos opostos. [...] (LDC, p. 105)

**Citações mencionadas na seção 3.2.1.29****Profase I**

[...]

Surgem os ásteres e o fuso acromático; desaparecem o nucléolo e a carioteca (LDC, p. 105).

[...] As in the prophase of mitosis, spindle fibers appear. [...] (LDJ, p. 161).

As prophase I continues, centrioles move to the cell's opposite poles. Spindle fibers form and bind to the sister chromatids at the centromere (LDK, p. 272).

**Citações mencionadas na seção 3.2.1.30****Profase I**

[...]

Surgem os ásteres e o fuso acromático; desaparecem o nucléolo e a carioteca (LDC, p. 105).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.32**

Emparelhados, os cromossomos homólogos ocupam o equador celular, presos a fibras do fuso acromático, atingindo condensação máxima (LDC, p.105).

During metaphase I, the tetrads line up randomly along the midline of the dividing cell, [...] (LDJ, 162).

**Metaphase I** In the next phase of meiosis, the pairs of homologous chromosomes line up at the equator of the cell, [...] (LDK, p. 272).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.33**

Emparelhados, os cromossomos homólogos ocupam o equador celular, presos a fibras do fuso acromático, atingindo condensação máxima (LDC, p.105).

A major difference between meiosis and mitosis is that in prophase of meiosis I, homologous chromosomes [...] pair with each other, a process known as *synapsis*. This forms a *bivalent chromosome*, or *tetrad*, composed of four homologous chromatids two maternal and two paternal. [...] (Lodish *et al.*, 2007, p. 892).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.34**

Na metáfase I os bivalentes são alinhados no centro da célula ligados às fibras do fuso aos pares na placa equatorial, [...] (LDB, p. 84).

Emparelhados, os cromossomos homólogos ocupam o equador celular, presos a fibras do fuso acromático, atingindo condensação máxima (LDC, p.105).

[...] Spindle fibers from one pole attach to the centromere of one homologous chromosome. Spindle fibers from the opposite pole attach to the other homologous chromosome of the pair (LDJ, 162).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.1.35**

Spindle fibers form and bind to the sister chromatids at the centromere (LDK, p. 272).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.1.36**

[...] Spindle fibers from one pole attach to the centromere of one homologous chromosome. Spindle fibers from the opposite pole attach to the other homologous chromosome of the pair (LDJ, 162).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.37**

[...] na anáfase I, os dois cromossomos homólogos se separam e são movidos para os pólos opostos. [...] (LDB, p. 84).

Tracionados por fibras do fuso acromático, os cromossomos homólogos separam-se e são arrastados para os pólos opostos da célula. [...] (LDC, p. 106).

During anaphase I, each homologous chromosome (consisting of two chromatids attached by a centromere) moves to an opposite pole of the dividing cell. [...] (LDJ, 162).

**Anaphase I** During anaphase I, the homologous chromosomes separate, which is also illustrated in **figure 10.5**. Each member of the pair is guided by spindle fibers and moves toward opposite poles of the cell (LDK, p. 272).

What happens next? The homologous chromosomes separate, and two new cells are formed. [...] (LDL, p. 276).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.40**

Como não ocorre duplicação dos centrômeros, as cromátides-irmãs seguem juntas para o mesmo pólo (LDC, p.106).

During anaphase I, each homologous chromosome (consisting of two chromatids attached by a centromere) moves to an opposite pole of the dividing cell. [...] (LDJ, 162)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.1.42**

Because each pair of homologous chromosomes was separated, neither of the daughter cells has the two complete sets of chromosomes that it would have in a diploid cell. Those two sets have been shuffled and sorted almost like a deck of cards. (LDL, p. 277).

(...) Independent assortment helps account for the many genetic variations observed in plants, animals, and other organisms (LDL, p. 271).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.43**

As membranas nucleares são regeneradas e os cromossomos tornam-se menos condensados seguindo uma breve intercinese sem duplicação do material genético (DNA) (LDB, p. 85).

Nos pólos, os cromossomos descondensam-se apenas parcialmente, enquanto uma carioteca se refaz em torno de cada conjunto cromossômico. [...] (LDC, p. 106)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.44**

Nos pólos, os cromossomos descondensam-se apenas parcialmente, enquanto uma carioteca se refaz em torno de cada conjunto cromossômico. [...] (LDC, p. 106)

In some species, the chromosomes uncoil, the nuclear membrane reappears, and nuclei re-form during telophase I (LDK, p. 274).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.46**

[...] Em seguida a telófase, a célula divide-se em duas células haplóides (LDC, p. 106).

During telophase I, cytokinesis usually occurs, forming a furrow by pinching in animals cells and by forming a cells plate in plant cells (LDK, p. 274).

**Citações mencionadas na seção 3.2.1.47**

During meiosis I, the original cell produces two new cells, each containing one chromosome from each homologous pair. [...] (LDJ, p. 162).

The homologous chromosomes separate, and two new cells are formed. [...] (LDL, p. 276).

**Citações mencionadas na seção 3.2.1.48**

[...] A **telófase I** caracteriza-se principalmente pela primeira divisão do citoplasma em duas novas células, agora com a metade do número de cromossomos da célula original (LDB, p. 84).

During telophase I, the chromosomes reach the opposite ends of the cell, and cytokinesis begins. Notice that the new cells contain a haploid number of chromosomes [...] The new cells contain half the number of chromosomes of the original cell. [...] (LDJ, p. 162).

[...] Each member of the pair is guided by spindle fibers and moves toward opposite poles of the cell. The chromosome number is reduced from  $2n$  to  $n$  when the homologous separate [...]. (LDK, p. 272).

**Citações mencionadas na seção 3.2.1.49**

Na **primeira divisão da meiose** (ou meiose I), separam-se os pares de cromossomos homólogos, formando-se células haplóides. Embora os cromossomos dessas células estejam

duplicados (com duas cromátides-irmãs cada um), elas não apresentam pares de homólogos. (LDC, p. 105)

[...] Em seguida à telófase, a célula divide-se em duas células haplóides (LDC, p. 106).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.50**

[...] Embora os cromossomos dessas células estejam duplicados (com duas cromátides-irmãs cada um), elas não apresentam pares de homólogos. (LDC, p. 105)

During anaphase I of meiosis, however, each homologous chromosome still consists of two sister chromatids (LDK, p. 272).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.1.51**

Like somatic cells, premeiotic germ cells are diploid, containing two **homologs** of each morphological type of chromosome. The two homologs constituting each pair of **homologous chromosomes** are descended from different parents, and thus their genes may exist in different allelic forms (Lodish *et al*, 2007, p. 167).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.52**

Entre o final da primeira divisão e o início da segunda, pode haver um pequeno intervalo chamado **intercinese**, em que não ocorre duplicação do DNA (LDC, p. 106).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.53**

A formação dos gametas ou esporos prossegue por uma segunda divisão celular, (divisão II da meiose), sem que haja uma duplicação do DNA (LDB, p. 85).

Entre o final da primeira divisão e o início da segunda, pode haver um pequeno intervalo chamado **intercinese**, em que não ocorre duplicação do DNA (LDC, p. 106).

Meiosis II occurs in each cell formed during meiosis I and is not preceded by the copying of DNA. [...] (LDJ, p. 163).

Meiosis II The two cells produced by meiosis I now enter a second meiotic division. Unlike the first division, neither cell goes through a round of chromosome replication before entering meiosis II. [...] (LDL, p. 277).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.54**

##### **Prófase II**

Os cromossomos condensam-se, desaparecem os nucléolos, os centríolos duplicados ocupam pólos opostos na célula e surge o fuso acromático. [...] (LDC, p. 106).

[...] During prophase II, a second set of phases begins as the spindle apparatus forms and the chromosomes condense (LDK, p. 274).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.55**

##### **Prófase II**

Os cromossomos condensam-se, desaparecem os nucléolos, os centríolos duplicados ocupam pólos opostos na célula e surge o fuso acromático. [...] (LDC, p. 106).

During prophase II (step 5), spindle fibers form and begin to move the chromosomes toward the midline of the dividing cell. [...] (LDJ, p. 163).

[...] During prophase II, a second set of phases begins as the spindle apparatus forms and the chromosomes condense (LDK, p. 274).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.56**

Na prófase II, que é bastante rápida, o envoltório nuclear é removido e forma-se um novo fuso [...] (LDB, p. 85).

A carioteca desorganiza-se e os cromossomos espalham-se pelo citoplasma, prendendo-se às fibras do fuso acromático (LDC, p. 106).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.59**

#### **Metáfase II**

Os cromossomos, condensados, dispõem-se na região equatorial da célula, ligados a fibras do fuso acromático (LDC, p. 6).

During prophase II (step 5), spindle fibers form and begin to move the chromosomes toward the midline of the dividing cell. [...] (LDJ, p. 163).

[...] During metaphase II, the chromosomes are positioned at the equator by the spindle fibers, [...] (LDK, p. 274).

During metaphase II of meiosis, chromosomes line up in the center of each cell. [...] (LDL, 277)

### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.62**

Na **segunda divisão da meiose** (ou meiose II), separam-se as cromátides-irmãs, e as células-filhas permanecem haplóides, mas cada um de seus cromossomos possui apenas um filamento. (LDC, p. 105).

Os centrômeros duplicam-se, as cromátides-irmãs separam-se e os cromossomos-filhos são tracionados por fibras do fuso acromático para pólos opostos (LDC, p. 106).

[...] In anaphase II (step 7), the chromatids separate and move toward opposite poles of the cell (LDJ, p. 163).

[...] During anaphase II, the sister chromatids are pulled apart at the centromere by the spindle fibers, and the sister chromatids move toward the opposite poles of the cell. [...] (LDK, p. 274).

[...] In anaphase II, the paired chromatids separate. [...] (LDL, p. 277).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.63**

Na prófase II, que é bastante rápida, o envoltório nuclear é removido e forma-se um novo fuso, seguindo-se as três últimas fases do processo como na mitose normal: uma metáfase II, onde os cromossomos encontram-se no centro da célula com grau máximo de espiralização, uma anáfase II com a separação das cromátides-irmãs para os pólos da célula, diferente da

anáfase I onde os homólogos se separam, e finalmente uma telófase II, dividindo as duas células resultantes da meiose I em quatro células-filhas haplóides. (LDB, p. 85).

Os centrômeros duplicam-se, as cromátides-irmãs separam-se e os cromossomos-filhos são tracionados por fibras do fuso acromático para pólos opostos (LDC, p. 106).

[...] In anaphase II (step 7), the chromatids separate and move toward opposite poles of the cell (LDJ, p. 163).

[...] During anaphase II, the sister chromatids are pulled apart at the centromere by the spindle fibers, and the sister chromatids move toward the opposite poles of the cell. [...] (LDK, p. 274).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.1.64**

Os centrômeros duplicam-se, as cromátides-irmãs separam-se e os cromossomos-filhos são tracionados por fibras do fuso acromático para pólos opostos (LDC, p. 106).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.1.65**

[...] The chromosomes reach the poles during telophase II, and the nuclear membrane and nuclei reform [...] (LDK, p. 274).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.1.68**

[...] Cytokinesis II then occurs, resulting in four new cells, each of which contains half of the original cell's number of chromosomes (LDJ, p. 163).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.69**

No final da meiose ocorre a formação de quatro novas células haplóides a partir de uma célula diplóide inicial (LDB, p. 83).

A meiose é um tipo de divisão celular em que uma célula-mãe origina quatro células-filhas, com o número de cromossomos reduzido à metade. [...] (LDC, p. 105).

Cytokinesis II then occurs, resulting in four new cells, each of which contains half of the original cell's number of chromosomes (LDJ, p. 163).

[...] At the end of meiosis II, cytokinesis occurs, resulting in four haploid cells, each with  $n$  number of chromosomes, [...] (LDK, p. 274).

By the end of meiosis II, the diploid cell that entered meiosis has become 4 haploid cells (LDL, p. 276).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.1.72**

Se não ocorresse a redução do número de cromossomos na formação de gametas, quando um espermatozóide ( $2n$ ) fecunda um óvulo ( $2n$ ), ocorreria a formação de uma nova célula ( $4n$ ), depois ( $8n$ ) e assim sucessivamente. A meiose é, portanto, o mecanismo que possibilita a manutenção do número de cromossomos da espécie (LDB, p. 83)

A alternância entre meiose e fecundação mantém constante o número de cromossomos característico de cada espécie [...] (LDC, p. 105).

**ANEXO F – Conhecimentos sobre Padrões de Herança: Primeira lei de Mendel****Citação mencionada na seção 3.2.2.1**

[...] These peas were **true-breeding**, meaning that if they were allowed to self-pollinate, they would produce offspring identical to themselves. [...] (LDL, p. 263)

**Citações mencionadas na seção 3.2.2.2**

Mendel, ao cruzar ervilhas de flores vermelhas (puras) com outras de flores brancas (puras), notou que a primeira geração ou primeira filiação, representada por  $F_1$ , possuía somente flores vermelhas e iguais aos seus progenitores vermelhos (LDB, p. 261).

Nas gerações  $F_1$  e  $F_2$ , dois resultados chamam a atenção:

1º.) Na geração  $F_1$ , “desaparecem” as plantas de flores brancas.

[...]

Na geração  $F_1$  100% dos descendentes possuem os mesmos genótipo e fenótipo. (LDC, p. 121 – 122)

In one of his experiments, Mendel crossed a plant true-breeding for green pods with one true-breeding for yellow pods, as shown in Figure 9-4. The resulting seeds produced an  $F_1$  generation that had only green-podded plants. No yellow pods developed even though one parent had been true-breeding form yellow pods. Only one of the two traits found in the P generation appeared in the  $F_1$  generation (LDJ, p. 177).

**$F_1$  and  $F_2$  generations** When Mendel grew the seeds from the cross between the green-seed and yellow seed plants, all of the resulting offspring had yellow seeds. The offspring of this P cross are called the first filial ( $F_1$ ) generation. The green-seed trait seemed to have

disappeared in the  $F_1$  generation, and Mendel decided to investigate whether the trait was no longer present or whether it was hidden, or masked (LDK, p. 278).

What were those  $F_1$  hybrid plants like? Did the characters of the parent plants blend in the offspring? Not at all. To Mendel's surprise, all of the offspring had the character of only one of the parents, [...]. In each cross, the character of the other parent seemed to have disappeared (LDL, p. 265).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.3**

Como não apareceu nenhum descendente com flores brancas, Mendel procurou encontrar o motivo desse fato. Cruzou então os indivíduos vermelhos de  $F_1$  entre si e verificou surpresa que as flores brancas reapareceram em  $F_2$  ou segunda filiação, mas em proporção menor do que as vermelhas. A geração  $F_2$  foi obtida pela autofertilização ou autofecundação dos descendentes de  $F_1$  (LDB, p. 261).

Nas gerações  $F_1$  e  $F_2$ , dois resultados chamam a atenção:

- 1º.) Na geração  $F_1$ , “desaparecem” as plantas de flores brancas.
- 2º.) Na geração  $F_2$ , essas plantas ressurgem em todos os cruzamentos, na proporção de 3: 1, ou seja, três plantas de flores purpúreas para uma de flores brancas. (LDC, p. 121)

Next, Mendel allowed the  $F_1$  plants to self-pollinate and planted the resulting seeds. When the  $F_2$  generation plants grew, he observed that about three-fourths of the  $F_2$  plants had green pods and about one-fourth had yellow pods (LDJ, p. 177).

Mendel planted the  $F_1$  generation of yellow seeds, allowed the plants to grow and self-fertilize, and then examined the seeds from the cross. [...] Of the seeds Mendel collected, 6022 were yellow and 2001 were green, which almost is a perfect 3:1 ratio of yellow to green seeds (LDK, p. 278).

When Mendel compared the F<sub>2</sub> plants, he discovered that the traits controlled by the recessive alleles had reappeared! (LDL, p. 266).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.4**

Nas gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>, dois resultados chamam a atenção:

1º.) Na geração F<sub>1</sub>, “desaparecem” as plantas de flores brancas.

2º.) Na geração F<sub>2</sub>, essas plantas ressurgem em todos os cruzamentos, na proporção de 3:1, ou seja, três plantas de flores purpúreas para uma de flores brancas. (LDC, p. 121)

[...] When the F<sub>2</sub> generation plants grew, he observed that about three-fourths of the F<sub>2</sub> plants had green pods and about one-fourth had yellow pods (LDJ, p. 177).

Mendel planted the F<sub>1</sub> generation of yellow seeds, allowed the plants to grow and self-fertilize, and then examined the seeds from the cross. [...] Of the seeds Mendel collected, 6022 were yellow and 2001 were green, which almost is a perfect 3:1 ratio of yellow to green seeds (LDK, p. 278).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.5**

Cruzamos agora dois descendentes de F<sub>1</sub>

F<sub>2</sub> = Quanto ao genótipo: 25 % RR puras 50 % vermelhas Rr 25 % rr puras

Quanto ao fenótipo: 75 % de vermelhas, 25 % de brancas (LDB, 262).

Nas gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>, dois resultados chamam a atenção:

[...]

2º.) Na geração F<sub>2</sub>, essas plantas ressurgem em todos os cruzamentos, na proporção de 3: 1, ou seja, três plantas de flores purpúreas para uma de flores brancas. (LDC, p. 121)

When the F<sub>2</sub> generation plants grew, he observed that about three-fourths of the F<sub>2</sub> plants had green pods and about one-fourth had yellow pods (LDJ, p. 177).

Mendel planted the F<sub>1</sub> generation of yellow seeds, allowed the plants to grow and self-fertilize, and then examined the seeds from the cross. [...] Of the seeds Mendel collected, 6022 were yellow and 2001 were green, which almost is a perfect 3:1 ratio of yellow to green seeds (LDK, p. 278).

Roughly one fourth of the F<sub>2</sub> plants showed the trait controlled by the recessive allele (LDL, p. 266)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.6**

Todo caráter é condicionado por um par de genes alelos que se separam na formação dos gametas (LDB, p. 260).

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

- Cada característica é condicionada por um par de fatores alternativos. Quanto a cor das flores, um determina flores purpúreas; o outro, flores brancas (LDC, p. 121).

His observations and careful records led Mendel to hypothesize that something within the pea plants controlled the characteristics observed. He called these controls *factors*. Mendel hypothesized that each trait was inherited by means of a separate factor. [...] (LDJ, p. 177).

**Genes in pairs** Mendel concluded that there must be two forms of the seed trait in the pea plants – yellow-seed and green-seed – and that each was controlled by a factor, which now is called an allele. An allele is defined as an alternative form of a single gene passed from generation to generation. Therefore, the gene for yellow seeds and the gene for green seeds are each different forms of a single gene (LDK, p. 278).

From his set of experiments, Mendel drew two conclusions. Mendel's first conclusion was that biological inheritance is determined by factors that are passed from one generation to the next (LDL, p. 265).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.8**

**Genes in pairs** Mendel concluded that there must be two forms of the seed trait in the pea plants – yellow-seed and green-seed – and that each was controlled by a factor, which now is called an allele. An **allele** is defined as an alternative form of a single gene passed from generation to generation. Therefore, the gene for yellow seeds and the gene for green seeds are each different forms of a single gene (LDK, p. 278).

Atualmente, esses fatores chamam-se alelos, que se separam durante a meiose (LDC, p. 121).

[...] Soweit die Erfahrung reicht, finden wir es überall bestätigt, dass constant Nachkommen nur dann gebildet werden können, wenn die Keimzellen und der befruchtende Pollen gleichartig, somit beide mit der Anlage ausgerüstet sind völlig gleiche Individuen zu beleben, wie das bei der normalen Befruchtung der reinen Arten der Fall ist. Wir müssen es daher als nothwendig erachten, dass auch bei Erzeugung der constanten Formen an der Hybridpflanze vollkommen gleiche Factoren zusammenwirken. [...] (MENDEL, 1866b, p. 24).

Es bleibt mehr als wahrscheinlich, dass für die Veränderlichkeit der Culturgewächse ein Factor thätig ist, dem bisher wenig Aufmerksamkeit zugewendet wurde. Verschiedene Erfahrungen drängen zu der Ansicht, dass unsere Culturpflanzen mit wenigen Ausnahmen Glieder verschiedener Hybridreihen sind, deren gesetzmässige Weiterentwicklung durch häufige Zwischenkreuzungen abgeändert und aufgehalten wird. Es ist der Umstand nicht zu übersehen, dass die cultivirten Gewächste meistens in grösserer Anzahl neben einander gezogen werden, wodurch für die wechselseitige Befruchtung zwischen den vorhandenen Varietäten und mit den Arten selbst die günstigste Gelegenheit geboten wird. [...] (MENDEL, 1866b, p. 27).

Werden zwei Pflanzen, welche in einem oder mehreren Merkmalen constant verschieden sind, durch Befruchtung verbunden, so gehen, wie zahlreiche Versuche beweisen, die gemeinsamen Merkmale unverändert auf die Hybriden und ihre Nachkommen über; je zwei differirende hingegen vereinigen sich an der Hybride zu einem neuen Merkmale, welches gewöhnlich an den Nachkommen derselben Veränderungen unterworfen ist. Diese Veränderungen für je zwei differirende Merkmale zu beobachten und das Gesetz zu ermitteln, nach welchem dieselben in den aufeinander folgenden Generationen eintreten, war die Aufgabe des Versuches. [...] (MENDEL, 1866b, p. 27).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.9**

[...] Because the characteristics studied had two alternative forms, he reasoned that a pair of factors must control each trait. (LDJ, p. 177).

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

- Cada característica é condicionada por um par de fatores alternativos. Quanto a cor das flores, um determina flores purpúreas; o outro, flores brancas (LDC, p. 121).

Mendel concluded that the 3:1 ratio observed during his experiments could be explained if the alleles were paired in each of the plants. [...] (LDK, p. 278).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.2.10**

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

[...]

- Cada fator de um par vem de um dos genitores. (LDC, p. 121).

### Citações mencionadas na seção 3.2.2.11

Na formação dos gametas os genes alelos não se contaminam e nem se misturam uns com os outros, mas segregam e vão puros a gametas diferentes, guardando entre si proporções fixas e definida (LDB, p. 260).

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

[...]

- Os dois fatores separam-se na formação dos gametas, que são sempre puros; ou seja, cada gameta contém apenas um fator de cada par (LDC, p. 121).

The Law of Segregation

Mendel concluded that the paired factors separate during the formation of reproductive cells [...] The law of segregation states that a pair of factors is segregated, or separated during the formation of gametes (LDJ, p. 177).

[...] Mendel's **law of segregation** states that the two alleles for each trait separate during meiosis (LDK, p. 279).

**Explaining the F<sub>1</sub> Cross** To begin with, Mendel assumed that a dominant allele had masked the corresponding recessive allele in the F<sub>1</sub> generation. However, the trait controlled by the recessive allele showed up in some of the F<sub>2</sub> plants. This reappearance indicated that at some point the allele for shortness had been separated from the allele for tallness. How did this separation, or segregation, of alleles occur? Mendel suggested that the alleles for tallness and shortness in the F<sub>1</sub> plants segregated from each other during the formation of the sex cells, or gametes (GAM-eetz). [...]. (LDL, p. 266).

### Citações mencionadas na seção 3.2.2.12

Quando uma planta híbrida forma gametas, os fatores para a característica em questão segregam-se, de modo que cada gameta recebe um ou outro fator, nunca os dois simultaneamente (LDA, v. 3, p. 23).

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

[...]

- Os dois fatores separam-se na formação dos gametas, que são sempre puros; ou seja, cada gameta contém apenas um fator de cada par (LDC, p. 121).

Mendel concluded that the paired factors separate during the formation of reproductive cells. That is each reproductive cell, or gamete, receives one factor of each pair. [...] (LDJ, p. 177).

Mendel used homozygous yellow-seed plants in his P cross. **In Figure 10.9 (A)**, the top drawing shows that each gamete from the yellow-seed plant contains one *Y*. Recall that the chromosome number is divided in half during meiosis. The resulting gametes contain only one of the pair of seed-color alleles (LDK, p. 279).

When each  $F_1$  plant flowers and produces gametes, the two alleles segregate from each other so that each gamete carries only a single copy of each gene. [...] (LDL, p. 266)

### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.13**

Todo gameta é puro, isto é, contém apenas um alelo de cada par alomorfo.

Todo gameta apresenta apenas um cromossomo de cada par de homólogos.

Todo gameta é puro para um elemento de um par de determinantes (LDB, p. 260).

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

[...]

- Os dois fatores separam-se na formação dos gametas, que são sempre puros; ou seja, cada gameta contém apenas um fator de cada par (LDC, p. 121).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.14**

Como as plantas homocigotas possuem apenas um tipo de alelo, a separação do par de alelos origina gametas que contêm apenas esse alelo. As plantas de genótipo BB produzem apenas gametas com o alelo B; as plantas de genótipo bb, apenas gametas com o alelo b. [...] (LDC, p. 122).

Mendel used homozygous yellow-seed plants in his P cross. In **Figure 10.9 (A)**, the top drawing shows that each gamete from the yellow-seed plant contains one Y. Recall that the chromosome number is divided in half during meiosis. The resulting gametes contain only one of the pair of seed-color alleles.

The bottom drawing in **Figure 10.9 (A)** shows that each gamete from the green-seed plant contains one y allele. [...] (LDK, p. 279).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.15**

[...] Os heterocigotos recebem o alelo B de um dos genitores e o alelo b do outro. Geram dois tipos de gametas, em iguais proporções: com a separação dos alelos do par Bb, 50% dos gametas formados possuem o alelo B, e os restantes 50%, o alelo b [...] (LDC, p. 122).

[...] Therefore, each F<sub>1</sub> plant produces two types of gametes—those with the allele for tallness and those with the allele for shortness [...] (LDL, p. 266).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.2.16**

[...] Mendel's law of segregation states that the two alleles for each trait separate during meiosis. During fertilization, two alleles for that trait unite (LDK, p. 279).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.17**

[...] Os heterozigotos recebem o alelo B de um dos genitores e o alelo b do outro. [...] (LDC, p. 122).

[...] During meiosis, gametes receive one chromosome from each homologous pair of chromosomes. Thus, when the gametes combine in fertilization, the offspring receives from each parent one allele for a given trait (LDJ, p. 178).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.2.18**

[...] O  $F_1$  resulta da união do gameta masculino com o feminino, logicamente receberá um gene de cada progenitor.

Cada pai em suas células possui RR ou rr, o  $F_1$  será Rr. Os gametas de  $F_1$  serão R e r.

Ao se cruzar as plantas, haverá a união do gameta masculino R ou r com o gameta feminino R ou r. O ovo resultante possuirá ambos os genes, sendo, portanto, híbrido, Rr. (LDB, p. 261).

The third drawing in **Figure 10.9(B)** shows the alleles uniting to produce the genotype  $Yy$  during fertilization. All resulting  $F_1$  generation plants will have the genotype  $Yy$  and will have yellow seeds because yellow is dominant to green. These heterozygous organisms are called **hybrids**. (LDK, p.279)

### Citações mencionadas na seção 3.2.2.19

Mendel formulou as seguintes hipóteses:

[...]

- Quando dois fatores são diferentes, apenas um (**dominante**) se manifesta; o outro (**recessivo**) permanece oculto (LDC, p. 121).

[...] Mendel hypothesized that the trait appearing in the F<sub>1</sub> generation was controlled by a **dominant** factor because it masked, or dominated the factor for the other trait in the pair. [...] (LDJ, p. 177)

[...] Mendel concluded that the green-seed form of the trait did not show up in the F<sub>1</sub> generation because the yellow-seed form of the trait is dominant and masks the allele for the green-seed form of the trait.

[...] When alleles are present in the heterozygous state, the dominant trait will be observed. (LDK, p. 279).

**Explaining the F<sub>1</sub> Cross** To begin with, Mendel assumed that a dominant allele had masked the corresponding recessive allele in the F<sub>1</sub> generation. [...]

Let's assume, as perhaps Mendel did, that the F<sub>1</sub> plants inherited an allele for tallness from the tall parent and an allele for shortness from the short parent. Because the allele for tallness is dominant, all the F<sub>1</sub> plants are tall. [...]

(LDL, p. 266)

### Citação mencionada na seção 3.2.2.20

He thought that the trait that did not appear in the F<sub>1</sub> generation but reappeared in the F<sub>2</sub> generation was controlled by a recessive factor (LDJ, p. 177).

**Citação mencionada na seção 3.2.2.22**

[...] Na geração F<sub>2</sub>, encontra-se a proporção de três plantas de flores purpúreas para cada planta de flores brancas; são encontrados, ainda, três genótipos diferentes: 25% dos descendentes tem genótipo BB, 50% Bb e 25% bb. [...] (LDC, p. 122).

## ANEXO G – Conhecimentos sobre Padrões de Herança: Segunda lei de Mendel

### Citações mencionadas na seção 3.2.3.1

No cruzamento entre duas plantas homozigotas para os dois pares de alelos, uma de flores axiais purpuras (genótipo  $TT BB$ ) e outra de flores terminais brancas (genótipo  $tt bb$ ), todos os descendentes terão flores axiais purpúras (genótipo  $Tt Bb$ ) (LDC, p. 138).

[...] In garden peas, round seeds ( $R$ ) are dominant to wrinkled seeds ( $r$ ), and yellow seeds ( $Y$ ) are dominant to green seeds ( $y$ ). If Mendel crossed homozygous yellow, round-seed pea plants with homozygous green, wrinkle-seed pea plants, the P cross could be represent by  $YYRR \times yyrr$ . The  $F_1$  generation genotype would be  $YyRr$  – yellow, round-seed plants (LDK, p. 280).

The Two-Factor Cross:  $F_1$  First, Mendel crossed true-breeding plants that produced only round yellow peas (genotype  $RRYY$ ) with plants that produced wrinkled green peas (genotype  $rryy$ ). All of the  $F_1$  offspring produced round yellow peas. This shows that the alleles for yellow and round peas are dominant over the alleles for green and wrinkled peas. [...] (LDL, p. 270).

### Citações mencionadas na seção 3.2.3.2

[...]. The results of Mendel's dihybrid cross included nine different genotypes:  $YYRR$ ,  $rrRr$  and  $yyrr$ . He counted and recorded four different phenotypes: 315 yellow round, 108 green round, 101 yellow wrinkled, and 32 green wrinkled. These results represent a phenotypic ratio of approximately 9:3:3:1 (LDK, p. 280).

Mendel's experimental results were very close to the 9:3:3:1 ratio that the Punnett square shown in Figure 11-10 predicts. (LDL, p.271)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.3.5**

Quando dois ou mais de dois pares de genes alelos, localizados em cromossomos homólogos diferentes, não se fundem no heterozigoto, cada um deles age e segrega independente do outro, totalmente ao acaso e com a mesma probabilidade, na formação dos gametas (LDB, p. 267).

Estudando vários cruzamentos em que acompanhava duas características ao mesmo tempo, Mendel enunciou sua segunda lei: “Dois ou mais pares de fatores segregam-se independentemente durante a formação dos gametas, nos quais se recombina ao acaso” (LDC, p. 138 -189).

Mendel allowed  $F_1$  pea plants with the genotype  $YyRr$  to self-fertilize in a dihybrid cross. Mendel calculated the genotypic and phenotypic ratios of the offspring in both the  $F_1$  and  $F_2$  generations. From these results, he developed the **law of independent assortment**, which states that a random distribution of alleles occur during gamete formation. Genes on separate chromosomes sort independently during meiosis (LDK, p. 280)

[...] This clearly meant that the alleles for seed shape segregated independently of those for seed color - a principle known as independent assortment. Put another way, genes that segregate independently - such as the genes for seed shape and seed color in pea plants-do not influence each other's inheritance. [...]. **The principle of independent assortment states that genes for different traits can segregate independently during the formation of gametes** [...]. (LDL, p. 271)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.3.6**

Estudando vários cruzamentos em que acompanhava duas características ao mesmo tempo, Mendel enunciou sua segunda lei: “Dois ou mais pares de fatores segregam-se independentemente durante a formação dos gametas, nos quais se recombinaem ao acaso” (LDC, p. 138 -189).

[...] the random assortment of alleles results in four possible gametes:  $YR$ ,  $Yr$ ,  $yR$  or  $yr$ , each of which is equally likely to occur. [...] (LDK, p. 280)

### **Citação mencionada na seção 3.2.3.8**

The Two-Factor Cross:  $F_1$  First, Mendel crossed true-breeding plants that produced only round yellow peas (genotype  $RRYY$ ) with plants that produced wrinkled green peas (genotype  $rryy$ ). [...] A Punnett square for this cross, shown in Figure 11-9, shows that the genotype of each of these  $F_1$  plants is  $Rr Yy$ .

[...]

In other words, the  $F_1$  plants were all heterozygous for both the seed shape and seed color genes. [...] (LDL, p. 270 - 271)

### **Citações mencionadas na seção 3.2.3.10**

[...] Estando os pares de alelos  $Tt$  e  $Bb$  em cromossomos diferentes, a separação dos alelos de um dos pares, durante a meiose, não interfere na separação dos alelos do outro par, de tal forma que os gametas podem se formar em quatro combinações possíveis, nas mesmas proporções [...] (LDC, p. 138).

Mendel's law of independent assortment is supported by the independent segregation of chromosomes to gametes during meiosis (LDJ, p. 178).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.3.14**

[...] Estando os pares de alelos *Tt* e *Bb* em cromossomos diferentes, a separação dos alelos de um dos pares, durante a meiose, não interfere na separação dos alelos do outro par, de tal forma que os gametas podem se formar em quatro combinações possíveis, nas mesmas proporções [...] (LDC, p. 138)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.3.15**

Pelos conhecimentos atuais de divisão celular, sabe-se que a segunda lei de Mendel só se aplica a pares de alelos situados em pares diferentes de cromossomos homólogos (LDC, p. 139).

## ANEXO H – Conhecimentos sobre Expressão Gênica (Síntese proteica)

### Citações mencionadas na seção 3.2.4.1

A seqüência de bases nitrogenadas de uma molécula de RNA reflete rigorosamente a seqüência de bases da cadeia de DNA que serviu de molde. Por exemplo, uma cadeia de DNA com seqüência de base TAGGCTAATGCTCGTA produz um RNA com seqüência de bases AUCCGAUUACGAGCAU. Assim, a mensagem em código escrita no DNA é transcrita para o RNA. É por isso que o processo de produção de RNA é chamado de transcrição gênica (LDA, v.1, p. 250).

[...] Forming proteins based on information in DNA and carried out by RNA is called **protein synthesis**, or gene expression [...] (LDJ, p. 204).

[...] The first type of RNA is **messenger RNA (mRNA)**, a single-stranded RNA molecule that carries the instructions from a gene to make a protein. In eukaryotic cells, mRNA carries the genetic “message” from DNA in nucleus to the ribosomes in the cytosol. [...] (LDJ, p. 205).

Transcription is the process by which the genetic instructions in a specific gene are transcribed or “rewritten” into a RNA molecule. [...] (LDJ, p. 206).

[...] In molecular terms, genes are coded DNA instructions that control the production of proteins within the cell. The first step in decoding these genetic messages is to copy part of the nucleotide sequence from DNA into RNA, or ribonucleic acid. These RNA molecules contain coded information for making proteins.

[...]

RNA, like DNA, consists of a long chain of nucleotides. As you may recall, each nucleotide is made up of a 5-carbon sugar, a phosphate group, and a nitrogenous base. There are three main

differences between RNA and DNA: The sugar in RNA is ribose instead of deoxyribose, RNA is generally single-stranded, and RNA contains uracil in place of thymine.

[...]

Most genes contain instructions for assembling amino acids into proteins. The RNA molecules that carry copies of these instructions are known as messenger RNA (mRNA) because they serve as “messengers” from DNA to the rest of the cell (LDL, p. 300-301).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.2**

Each three nucleotide sequence in mRNA that encodes an amino acid or signifies a start or stop signal is called a codon (LDJ, p. 207).

Experiments during the 1960s demonstrated that the DNA code was indeed a three-base code. The three-base code in DNA or mRNA is called a codon (LDK, p. 338).

[...] A **codon** consists of three consecutive nucleotides that specify a single amino acid that is to be added to the polypeptide. [...] (LDL, p. 302)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.3**

Table 10-1 lists the 64 mRNA codons and the amino acids they encode in most organisms. [...] (LDJ, p. 207).

The hypothesis for how the bases formed the code is based on math and logic. If each base coded for one amino acid, then the four bases could code for four amino acids. If each pair of bases coded for one amino acid, then the four bases could only code for 16 ( $4 \times 4$  or  $4^2$ ) amino acids. However, if a group of three bases coded for one amino acid, there would be 64 ( $4^3$ ) possible codes. This provides more than 20 codes needed for the 20 amino acids, but the

smallest possible combination of bases to provide enough codes for the amino acids (LDK, p. 338).

Because there are four different bases, there are 64 possible three-base codons ( $4 \times 4 \times 4 = 64$ ). [...] (LDL, p. 303).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.4**

[...] Certain sequences of nucleotides in mRNA (UAA, UAG, or UGA), called *stop codons*, do not code for amino acids, but instead signal for translation to end (LDJ, p. 207).

[...] Notice that all but three codons are specific for an amino acid these three are stop codons. [...] (LDK, p. 338).

The stop codon signals the end of the protein synthesis and does not complement any tRNA. Proteins called release factors cause the mRNA to be released from the last tRNA and the ribosome subunits to disassemble, ending protein synthesis (LDK, p. 340).

Notice also that there are three “stop” codons that do not code for any amino acid. Stop codons act like the period at the end of a sentence; they signify the end of a polypeptide, which consists of many amino acids. (LDL, p. 303).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.6 e 3.2.4.8**

[...] A **codon** consists of three consecutive nucleotides that specify a single amino acid that is to be added to the polypeptide. [...] (LDL, p. 302)

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.9**

During the next process of gene expression, amino acids are assembled based on instructions encoded in the sequence of nucleotides in the mRNA (LDJ, p. 207).

The assembly of amino acids into proteins is controlled by RNA (LDL, p. 300).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.10**

**Genetic code** The correspondence between triplets in DNA (or RNA) and amino acids in polypeptide (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 888).

The genetic code is the term for the rules that relate how a sequence of nitrogenous bases in nucleotides corresponds to a particular amino acid. In the genetic code, three adjacent nucleotides (“letters”) in mRNA specify an amino acid (“word”) in a polypeptide. [...] (LDJ, p. 207).

**Citação mencionada na seção 3.2.4.11**

The genetic code is nearly universal to all life on Earth and supports the idea that all organisms share an ancient common ancestor (LDJ, p. 207)

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.15**

A tRNA carrying the amino acid methionine at one end and the anticodon UAC at the other end pairs with the start codon AUG on the mRNA. [...] (LDJ, p. 209).

[...] Codon AUG codes for the amino acid methionine and also functions as the start codon. (LDK, p. 338)

There is also one codon, AUG, that can either specify methionine or serve as the initiation, or “start” codon for protein synthesis. [...] (LDL, p. 303)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.16**

The next codon is UUU, so a tRNA with the anticodon AAA moves in, carrying the amino acid phenyllanine (LDK, p. 340).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.22**

The first systematic attempt to associate genes with enzymes, carried out by Beadle and Tatum in the 1940s, showed that each stage in a metabolic pathway is catalyzed by a single enzyme and can be blocked by mutation in a different gene. This led to the **one gene: one enzyme hypothesis**. Each metabolic step is catalyzed by a particular enzyme, whose production is the responsibility of a single gene. A mutation in the gene alters the activity of the protein for which it is responsible.

A modification in the hypothesis is needed to accommodate proteins that consist of more than one subunit. If the subunits are all the same, the protein is a **homomultimer** and is represented by a single gene. If the subunits are different, the protein is a **heteromultimer**. Stated as a more general rule applicable to any heteromultimeric protein, the one gene: one enzyme hypothesis becomes more precisely expressed as the one gene : one polypeptide hypothesis. Even this general rule needs to be refined because many genes encode multiple, related polypeptides through alternative splicing of the mRNA [...] (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 28).

Os biólogos Beadle e Tatum, provocando alterações no DNA de fungos da espécie *Neurospora crassa* por exposição a raios X, conseguiram identificar mutantes com deficiência de uma enzima específica. Com isso puderam chegar a conclusão: “Um gene é uma porção de DNA que determina a produção de uma enzima”.

Como nem todas as proteínas são enzimas, um conceito ainda mais abrangente é: “Um gene é um segmento de DNA que determina a produção de uma proteína” (LDC, p. 95).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.23**

A molécula do RNA é moldada por um processo chamado de transcrição a partir da molécula do DNA presente no núcleo da célula, mas a sua função principal na síntese de proteínas ocorre no hialoplasma.

[...]

O RNAr origina-se do DNA em regiões especiais de alguns cromossomos relacionadas com o nucléolo (região organizadora do nucléolo).

[...]

Os RNAs mensageiros são as cópias dos genes (segmentos de DNA) que serão traduzidos em proteínas. São formados a partir de regiões ativas do DNA, responsáveis pela expressão genética.

[...]

O RNAt é produzido no núcleo a partir do DNA [...] (LDB, p. 70 - 71).

O RNA é, na verdade, o responsável por fazer com que a mensagem contida no DNA seja traduzida em uma proteína, que, de forma direta ou indireta, determina as características hereditárias no organismo; (LDB, p. 70).

[...]

O DNA contém as instruções para a produção de proteínas na célula.

Todavia, não é o DNA que age diretamente na síntese da proteína mas o RNAm, que é formado a partir do DNA. Dessa forma, fica bem clara a relação entre DNA, RNA e proteína. (LDB, p. 72).

O RNA pode ter função estrutural (nos ribossomos, por exemplo). Então, também é um gene o segmento de DNA que codifica a síntese de RNA estrutural, ainda que não venha a traduzir-se na produção de uma proteína. (LDC, p. 95)

As informações genéticas, que controlam o funcionamento celular, determinam a estrutura das células e transmitem características hereditárias, estão depositadas no DNA. O comando exercido pelo DNA passa pelo controle da síntese de proteínas, que podem ser enzimas, proteínas, estruturais, hormônios, anticorpos etc. Ao determinar a síntese de uma proteína, o DNA está, indiretamente, controlando a característica relacionada àquela proteína. [...]

A descoberta do **RNA mensageiro** (RNAm) por Jacob e Monod estabeleceu o vínculo entre DNA e ribossomos. Na transcrição, uma das cadeias do DNA serve de molde para a produção de uma cadeia de RNAm, que contém uma seqüência de bases complementares a da cadeia de DNA da qual se originou. A seqüência de bases do RNAm determina a ordem em que os aminoácidos irão se ligar na formação da proteína, durante a leitura realizada pelos ribossomos (LDC, p. 95).

A gene is a segment of DNA that is located on a chromosome and that codes for a hereditary character. For example, a gene determines a person's hair color. The gene directs the making of the protein called *melanin* (a pigment) in hair follicle cells through as intermediate – the nucleic acid called ribonucleic acid, or RNA (LDJ, p. 204)

“The RNA made during transcription can be one of many types including mRNA, tRNA, or rRNA” (LDJ, p. 206)

[...] In molecular terms, **genes** are coded DNA instructions that control the production of proteins within the cell. The first step in decoding these genetic messages is to copy part of the nucleotide sequence from DNA into RNA, or ribonucleic acid. These RNA molecules contain coded information for making proteins. (LDL, p. 300).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.24**

A molécula do RNA é moldada por um processo chamado de transcrição a partir da molécula do DNA presente no núcleo da célula, mas a sua função principal na síntese de proteínas ocorre no hialoplasma (LDB, p. 70).

[...] Na transcrição, uma das cadeias do DNA serve de molde para a produção de uma cadeia de RNAm, que contém uma seqüência de bases complementares a da cadeia de DNA da qual se originou (LDC, p. 95).

RNA molecules are produced by copying part of the nucleotide sequence of DNA into a complementary sequence in RNA, a process called transcription. [...] (LDL, p. 301)

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.25**

RNA molecules are produced by copying part of the nucleotide sequence of DNA into a complementary sequence in RNA, a process called transcription. [...] (LDL, p. 301).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.26**

Todo RNA é produzido a partir de um molde de DNA; [...] (LDA, v.1, p. 250)

[...] Na transcrição, uma das cadeias do DNA serve de molde para a produção de uma cadeia de RNAm, que contém uma seqüência de bases complementares a da cadeia de DNA da qual se originou. [...] (LDC, p. 96).

[...] During **transcription**, DNA acts as a template for the synthesis of RNA. [...] (LDJ, p. 204)

[...] The strand of DNA that is read by RNA polymerase is called the template strand, and mRNA is synthesized as a complement to the DNA nucleotides. [...] (LDK, p. 337).

[...] RNA polymerase then uses one strand of DNA as a template from which nucleotides are assembled into a strand of RNA. [...] (LDL, p. 301)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.28**

[...] Unlike DNA replication, transcription uses only a specific region (a gene) on one of the two DNA strands to serve as the template [...] (LDJ, p. 206)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.29**

A síntese do RNA a partir da molécula do DNA ocorre no núcleo da célula eucariótica, onde se encontra o DNA. [...] (LDB, p. 71)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.31**

[...] O processo da transcrição é muito semelhante à duplicação do DNA, só que esse processo é comandado por uma outra enzima, a RNA polimerase e não a DNA polimerase como na duplicação do DNA (LDB, p. 71).

Transcription occurs in three steps [...]. In step 1, **RNA polymerase**, an enzyme that catalyzes the formation of RNA on a DNA template, binds to a promoter. [...] (LDJ, p. 206).

[...] The DNA is unzipped in the nucleus and **RNA polymerase**, an enzyme that regulates RNA synthesis, bind to a specific section where an mRNA will be synthesized. As the DNA strand unwinds, the RNA polymerase initiates mRNA synthesis and moves along one of the DNA strands in the 3' to 5' direction. [...] (LDK, p. 337).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.32**

Transcription occurs in three steps [...]. In step 1, **RNA polymerase**, an enzyme that catalyzes the formation of RNA on a DNA template, binds to a promoter. A **promoter** is a specific nucleotide sequence of DNA where RNA polymerase binds and initiates transcription [...] (LDJ, p. 206).

[...] The DNA is unzipped in the nucleus and RNA polymerase, an enzyme that regulates RNA synthesis, bind to a specific section where an mRNA will be synthesized. [...] (LDK, p. 337).

The enzyme will bind only to regions of DNA known as promoters, which have specific base sequences. In effect, promoters are signals in DNA that indicate to the enzyme where to bind to make RNA. (LDL, p. 301)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.34**

After RNA polymerase binds to the promoter, the DNA strands unwind and separate (LDJ, p. 206).

[...] During transcription, RNA polymerase binds to DNA and separates the DNA strands. [...] (LDL, p. 301).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.37**

Inicialmente, a RNA polimerase rompe as pontes de hidrogênio de uma determinada seqüência da molécula de DNA que vai ser transcrita (gene ativo), ao mesmo tempo em que vai inserindo ribonucleotídeos (nucleotídeos de RNA que contêm ribose em vez de desoxirribose como no DNA) específicos segundo uma das fitas molde do DNA. [...] (LDB, p. 71)

In step 2, RNA polymerase adds free RNA nucleotides that are complementary to the nucleotides on one of the DNA strands [...] (LDJ, p. 206)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.38**

Na transcrição, uma das cadeias do DNA serve de molde para a produção de uma cadeia de RNAm, que contem uma seqüência de bases complementares a da cadeia de DNA da qual se originou (LDC, p. 96).

In step 2, RNA polymerase adds free RNA nucleotides that are complementary to the nucleotides on one of the DNA strands. [...] As in DNA replication, complementary base pairing determines the nucleotide sequence in the newly made RNA. [...] (LDJ, p. 206) .

[...] Messenger RNA (mRNA) molecules are long strands of RNA nucleotides that are formed complementary to one strand of DNA [...] (LDK, p. 336).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.39**

Inicialmente, a RNA polimerase rompe as pontes de hidrogênio de uma determinada seqüência da molécula de DNA que vai ser transcrita (gene ativo), ao mesmo tempo em que vai inserindo ribonucleotídeos (nucleotídeos de RNA que contêm ribose em vez de desoxirribose como no DNA) específicos segundo uma das fitas molde do DNA. Onde no DNA havia TIMINA esta é substituída por URACILA pareando com as ADENINAS, já as GUANINAS continuam pareando com as CITOSINAS (LDB, p. 71).

In step 2, RNA polymerase adds free RNA nucleotides that are complementary to the nucleotides on one of the DNA strands. [...] As in DNA replication, complementary base pairing determines the nucleotide sequence in the newly made RNA. For example, if the bases on the DNA strand was ATCGAC, the bases on the RNA strand would be UAGCUG [...] (LDJ, p. 206).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.44**

During step 3, RNA polymerase reaches a **termination signal**, a specific sequence of nucleotides that marks the end of a gene (LDJ, p. 206).

In effect, promoters are signals in DNA that indicate to the enzyme where to bind to make RNA. Similar signals in DNA cause transcription to stop when the new RNA molecule is completed (LDL, p. 301).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.45**

Em seguida, a molécula de RNA recém-formada se destaca do DNA (LDB, p. 71).

**Citação mencionada na seção 3.2.4.48**

As moléculas de RNA transcritas a partir do DNA podem ser de três tipos principais: RNA mensageiro (RNAm), RNA ribossômico (RNAr) e RNA transportador (RNAt). (LDA, v. 1, p. 251)

**Citação mencionada na seção 3.2.4.50**

O RNAr origina-se do DNA em regiões especiais de alguns cromossomos relacionadas com o nucléolo (região organizadora do nucléolo). Migrando até o citoplasma, o RNAr associa-se a proteínas, formando os ribossomos, tendo portanto função estrutural (LDB, p. 70).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.53**

O RNAr origina-se do DNA em regiões especiais de alguns cromossomos relacionadas com o nucléolo (região organizadora do nucléolo). Migrando até o citoplasma, o RNAr associa-se a proteínas, formando os ribossomos, tendo portanto função estrutural (LDB, p. 70).

Ribosomes are made of rRNAs and many proteins (LDJ, p. 205).

**Ribosomal RNA** (rRNA) is the type of RNA that associates with proteins to form ribosomes in the cytoplasm (LDK, p. 336).

[...] Ribosomes are made up of several dozen proteins, as well as a form of RNA known as **ribosomal RNA** (rRNA) (LDL, p. 301).

#### Citações mencionadas na seção 3.2.4.54

[...] O retículo granular encontra-se bem desenvolvido nas células que atuam na síntese de proteínas, por apresentar grânulos que são ribossomos aderidos à face externa da sua membrana, responsáveis pela síntese proteica. (LDB, p. 59)

[...] Ribosomes are organelles in the cell where protein synthesis occurs [...] (LDJ, p. 205).

Proteins are assembled on ribosomes, [...] (LDL, p. 301).

#### Citação mencionada na seção 3.2.4.56

Junction of the 60S subunits with the initiation complex cannot occur until eIF2 and eIF3 have been released from the initiation complex. This is mediated by eIF5 and causes eIF2 to hydrolyze its GTP. The reaction occurs on the small ribosome subunit and requires the base-pairing of the initiator tRNA with the initiation codon. All of the remaining factors likely are released when the complete 80S ribosome is formed (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 681).

#### Citações mencionadas na seção 3.2.4.58

**gene** Physical and functional unit of heredity, which carries information from one generation to the next. In molecular terms, it is the entire DNA sequence—including **exons**, **introns**, and **transcription-control regions**—necessary for production of functional polypeptide or RNA. [...] (LODISH *et al.*, 2007, G-9).

[...] The genes that carry instructions for making proteins commonly contain two parts: a *coding region* that specifies the amino acid sequence of protein and a *regulatory region* that controls when and in which cells the protein is made (LODISH *et al.*, 2007, p. 11).

When researchers first compared the nucleotide sequences of eukaryotic mRNAs from multicellular organisms with the DNA sequences encoding them, they were surprised to find that the uninterrupted protein-coding sequence of a given mRNA was discontinuous in its corresponding section of DNA. They concluded that the eukaryotic gene existed in pieces of coding sequence, the **exons**, separated by non-protein-coding segments, the **introns** [...] (LODISH *et al.*, 2007, p. 123).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.59**

In **translation**, RNA directs the assembly of proteins (LDJ, p. 204).

**Messenger RNA (mRNA)** [...] They travel from the nucleus to the ribosome to direct the synthesis of a specific protein” (LDK, p. 336)

The decoding of an mRNA message into a polypeptide chain (protein) is known as translation. [...] During translation, the cell uses information from messenger RNA to produce proteins. [...] (LDL, p. 304).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.60**

One special codon, AUG, acts as a start codon. A *start codon* is a specific sequence of nucleotides in mRNA that indicates where translation should begin. [...] (LDJ, p. 207).

[...] Codon AUG codes for the amino acid methionine and also functions as the start codon. (LDK, p. 338).

There is also one codon, AUG, that can either specify methionine or serve as the initiation, or “start” codon for protein synthesis. [...] (LDL, p. 303).

### **Citação mencionada na seção 3.2.4.63**

#### Small Subunits Scan for Initiation Sites on Eukaryotic mRNA

- Eukaryotic 40S ribosomal subunits bind to the 5' end of mRNA and scan the mRNA until they reach an initiation site.
- A eukaryotic initiation site consists of a ten-nucleotide sequence that includes an AUG codon.
- 60S ribosomal subunits join the complex at the initiation site (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008,p. 673).

### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.65**

The third type of RNA is **transfer RNA (tRNA)**, which transfers amino acids to the ribosome to make a protein (LDJ, p. 205).

[...] The third type of RNA, **transfer RNA (tRNA)** are smaller segments of RNA nucleotides that transport amino acids to the ribosome. [...] (LDK, p. 336).

During the construction of a protein, a third type of RNA molecule transfers each amino acid to the ribosome as it is specified by coded messages in mRNA. These RNA molecules are known as transfer RNA (tRNA) (LDL, p. 101).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.66**

O RNAt é dotado de uma região específica para cada aminoácido e de outra região codificada que determina o seu lugar apropriado na molécula de RNAm. Logo, existe pelo menos um RNAt para cada aminoácido. [...] (LDB, p. 71).

Each tRNA molecule carries only one kind of amino acid. For example, some tRNA molecules carry methionine, others carry arginine, and still others carry serine (LDL, p. 304).

**Citação mencionada na seção 3.2.4.67**

[...] The first step, attachment of the appropriate amino acid to a tRNA, is catalyzed by a specific aminoacyl-tRNA synthetase. Each of the 20 different synthetases recognizes *one* amino acid and *all* its compatible, or *cognate*, tRNAs. These coupling enzymes link an amino acid to the free 2' or 3' hydroxyl of the adenosine at the 3' terminus of tRNA molecules by an ATP-requiring reaction [...] (LODISH *et al.*, 2007, p. 131).

Enzymes first attach a specific amino acid to one end of each tRNA according to the genetic code (LDJ, p. 208).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.68**

Aminoacyl-tRNA synthetases are a family of enzymes that attach amino acid to tRNA, generating aminoacyl-tRNA in a two-step reaction that uses energy from ATP (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, p. 716).

[...] The tRNA is folded into a cloverleaf shape and is activated by an enzyme that attaches a specific amino acid to the 3'end. [...] (LDK, p. 338).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.70**

At the middle of the folded strand, there is a three-base coding sequence called the anticodon (LDK, p. 338).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.71**

[...] A especificidade do RNAt para um determinado aminoácido é estabelecida pela trinca de bases nitrogenadas que se apresenta numa certa região. Essa trinca de bases é denominada anticódon, que deve ser complementar ao códon do RNAm (LDB, p 71).

[...] The other end of each tRNA contains the **anticodon**, three nucleotides on the RNA that are complementary to the sequence of a codon in mRNA (LDJ, p. 208).

[...] In addition to an amino acid, each tRNA molecule has three unpaired bases. These bases, called the **anticodon**, are complementary to one mRNA codon (LDL, p. 304).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.72**

O RNAt é dotado de uma região específica para cada aminoácido e de outra região codificada que determina o seu lugar apropriado na molécula de RNAm. [...] A especificidade do RNAt para um determinado aminoácido é estabelecida pela trinca de bases nitrogenadas que se

apresenta numa certa região. Essa trinca de bases é denominada anticódon, que deve ser complementar ao códon do RNAm (LDB, p 71).

[...] At the middle of the folded strand, there is a three-base coding sequence called the anticodon. Each anticodon is complementary to a codon on the mRNA. Though the code in DNA and RNA is read 5' to 3', the anticodon is read 3' to 5' (LDK, p. 338).

[...] The other end of each tRNA contains the **anticodon**, three nucleotides on the RNA that are complementary to the sequence of a codon in mRNA. (LDJ, p. 208 - 209).

[...] In addition to an amino acid, each tRNA molecule has three unpaired bases. These bases, called the **anticodon**, are complementary to one mRNA codon (LDL, p. 304).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.74**

[...] Crick thus proposed that prior to incorporation into proteins, amino acids are first attached to specific adaptor molecules, which in turn process unique surfaces that can bind specifically to bases on the RNA templates (WATSON *et al.*, 2007, p. 32).

[...] the transfer RNA molecules of Zamecnik and Hoagland are in fact the adaptor molecules postulated by Crick. Each transfer RNA contains a sequence of adjacent bases (the anticodon) that bind specifically during protein synthesis to successive groups of bases (codons) along the RNA template (WATSON *et al.*, 2007, p. 33).

During the construction of a protein, a third type of RNA molecule transfers each amino acid to the ribosome as it is specified by coded messages in mRNA. These RNA molecules are known as **transfer RNA** (tRNA) (LDL, p. 301).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.76**

[...]. Once in the cytoplasm, the 5' end of the mRNA connects to the ribosome. [...] (LDK, p. 338)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.77**

The translation or decoding of the genetic instructions to form a polypeptide involves five main steps [...]. In step 1, two ribosomal subunits, tRNA and an mRNA join together (LDJ, p. 208)

#### **Citação mencionada nas seções 3.2.4.81 e 3.2.4.82**

A second tRNA moves into a second groove in the ribosome, called the A site, and corresponds to the next codon of the mRNA [...] (LDK, p. 340).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.83**

A tRNA carrying the appropriate amino acid pairs its anticodon with the second codon in the mRNA. The ribosome then detaches methionine from the first tRNA, and a peptide bond forms between methionine and the second amino acid (LDJ, p. 209).

Part of the rRNA in the ribosome now acts as an enzyme catalyzing the formation of a bond between the new amino acid in the A site and the amino acid in the P site. [...] (LDK, p. 340).

In the ribosome, the amino acid is transferred to the growing polypeptide chain (LDL, p. 304).

At the same time, the ribosome breaks the bond that had held the first tRNA molecule to its amino acid and releases the tRNA molecule (LDL, p. 305)

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.84**

[...] O ribossomo encaixa-se em uma das extremidades do RNAm e o percorre até a outra extremidade. [...] (LDA, v. 1, p. 252).

Assim que os dois primeiros RNAt se encaixam aos sítios P e A, o ribossomo catalisa a separação da metionina de seu RNAt e sua imediata ligação ao aminoácido transportado pelo segundo RNAt, que ocupa o sítio A. Em seguida, o ribossomo desloca-se sobre a molécula de RNAm, dando um “passo” correspondente a uma trinca de bases. (LDA, v. 1, p. 254 - 255).

Com o deslocamento do ribossomo, o sítio A passa a se localizar sobre o terceiro códon do RNAm. Este orienta a entrada de um RNAt com anticódon complementar. [...] (LDA, v. 1, p. 255).

[...] Like an assembly line worker who attaches one part to another, the ribosome forms a peptide bond between the first and second amino acids, methionine and phenylalanine. [...] (LDL, p. 305)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.85**

The ribosome then moves a distance of one codon along the mRNA. (LDJ, p. 209).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.87**

The ribosome then detaches methionine from the first tRNA, and a peptide bond forms between methionine and the second amino acid. The first tRNA then exits the ribosome. The ribosome then moves a distance of one codon along the mRNA. (LDJ, p. 209).

At the same time, the ribosome breaks the bond that had held the first tRNA molecule to its amino acid and releases the tRNA molecule (LDL, p. 305)

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.89**

[...] As the two amino acids join, the tRNA in the P site is released to the third site, called the E site, where it exits the ribosome. The ribosome then moves so the tRNA found in Groove A is shifted to Site P, [...]. Now a new tRNA will enter the A site complementing the next codon on the mRNA. [...] (LDK, p. 340).

#### **Citações mencionadas na seção 3.2.4.90**

During step 3, the polypeptide chain continues to grow as the mRNA moves along the ribosome. A new tRNA moves in, carrying an amino acid for the next mRNA codon (LDJ, p. 209).

[...] As the two amino acids join, the tRNA in the P site is released to the third site, called the E site, where it exits the ribosome. The ribosome then moves so the tRNA found in Groove A is shifted to Site P, [...]. Now a new tRNA will enter the A site complementing the next codon on the mRNA. This process will continue adding and linking amino acids in the sequence determined by the mRNA (LDK, p. 340).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.94**

The polypeptide grows one amino acid at a time until step 4. At this step, the ribosome reaches the stop codon. [...] (LDJ, p. 209).

The ribosome continues to move along until the A site contains a stop codon. The stop codon signals the end of the protein synthesis and does not complement any tRNA. [...] (LDK, p. 340).

The polypeptide chain continues to grow until the ribosome reaches a stop codon on the mRNA molecule. [...] (LDL, p. 305)

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.96**

The polypeptide grows one amino acid at a time until step 4. At this step, the ribosome reaches the stop codon. The newly made polypeptide falls off (LDJ, p. 209).

[...] The stop codon signals the end of the protein synthesis and does not complement any tRNA. Proteins called release factors cause the mRNA to be released from the last tRNA and the ribosome subunits to disassemble, ending protein synthesis (LDK, p. 340).

[...] When the ribosome reaches a stop codon, it releases the newly formed polypeptide and the mRNA molecule, completing the process of translation (LDL, p. 305).

**Citações mencionadas na seção 3.2.4.98**

The polypeptide grows one amino acid at a time until step 4. At this step, the ribosome reaches the stop codon. The newly made polypeptide falls off (LDJ, p. 209).

The polypeptide chain continues to grow until the ribosome reaches a stop codon on the mRNA molecule. [...] (LDL, p. 305).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.99**

Most genes contain instructions for assembling amino acids into proteins. The RNA molecules that carry copies of these instructions are known as **messenger RNA** (mRNA) because they serve as “messengers” from DNA to the rest of the cell (LDL, 301).

#### **Citação mencionada na seção 3.2.4.100**

Because a new ribosome begins translating mRNA almost as soon as the preceding ribosome has moved aside, several ribosomes may translate the same mRNA transcript at the same time (LDJ, p. 2011).

**ANEXO I - Trechos dos textos dos livros que ilustram os distanciamentos e aproximações encontrados nos demais livros que complementam a amostra total para validação da amostra parcial**

**Trechos referentes ao distanciamento 3.2.1.33**

*Aproximações identificadas*

[...] Na metáfase I (metáfase da meiose I), ocorre uma novidade: os cromossomos homólogos, cada qual com suas duas cromátides, aparecem emparelhados na placa equatorial - o autossomo 1 com o outro 1, o 2 com o outro 2, etc., e o cromossomo sexual X com o outro X (na mulher), ou com o Y (no caso do homem) (LDD, v. 2, p. 195).

Na **metáfase I**, os pares de homólogos emparelhados alinham-se no equador da célula. Essa é outra importante diferença em relação à mitose, pois na metáfase da mitose os cromossomos homólogos não estão emparelhados na placa equatorial (LDE, p. 167).

Na metáfase I, as fibras polares passam a ocupar a região correspondente ao núcleo. [...]. Os cromossomos duplicados e emparelhados permanecem dispostos no equador da célula, com seus maiores eixos perpendiculares ao eixo das fibras polares (LDG, p. 120).

**Metáfase I**

[...] Os cromossomos homólogos pareados (tétrades) dispõem-se na zona equatorial da célula, organizando a placa equatorial. [...] (LDH, p. 177)

**Metáfase I**

[...] Os pares de cromossomos homólogos se organizam no plano equatorial da célula. [...] (LDI, v. 1, p. 177).

**Metaphase I** The pairs of homologous chromosomes are moved by the spindle to the equator of the cell. The homologous chromosomes remain together (LDM, p. 145).

### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.1.43**

#### *Distanciamentos identificados*

Quando as díades chegam aos pólos termina a anáfase I e tem início a telófase I. O que ocorre nesta fase da meiose é bastante semelhante ao que acontece na telófase da mitose: os cromossomos desespiralizam-se, a carioteca e o nucléolo reorganizam-se e ocorre a citocinese (LDG, p. 120).

#### Telófase I

Caracteriza-se pela descondensação dos cromossomos e pela reorganização da carioteca e do nucléolo. [...] (LDH, v.1, p. 177).

#### Telófase I

A carioteca se reorganiza; os cromossomos se desespiralam. [...] (LDI, v. 1, p. 177).

### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.1.51**

(Não houve aproximações e distanciamentos identificados além daqueles presentes na amostra selecionada).

### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.2.1**

### *Aproximações identificadas*

Mendel cruzava plantas que pertenciam a linhagens que ele chamava de **puras**. Essas linhagens eram aquelas que produziam descendentes com características que não variavam de uma geração para outra. [...] (LDG, p. 434).

2. (PUC-MG) Quando Mendel iniciou seus experimentos com as ervilhas, trabalhou inicialmente com a análise de uma característica por vez, utilizando sempre “linhagens puras”. Pergunta-se:

a) O que é linhagem pura? (LDG, p. 452).

2. a) Linhagem homozigótica para o caráter analisado (LDG, Manual do professor, p. 55).

[...] A linhagem é *pura*, em relação a um determinado caráter, quando os descendentes manifestam sempre um mesmo aspecto para o caráter estudado, isto é, não exibem variações ao longo das gerações. [...] (LDH, v. 3, p. 62).

**Puro** O mesmo que **homozigoto**. [...] (LDI, v. 3, p. 478)

**Homozigoto** Diz-se do indivíduo com dois **genes** iguais para um certo caráter. O mesmo que **puro**. [...] (LDI, v. 3, p. 475)

Mendel allowed each variety of garden pea to self-pollinate for several generations. This ensured that each variety was **true-breeding** for a particular character; that is, all the offspring would display only one form of the character. For example, a true-breeding purple-flowering plant should produce only plants with purple flowers in subsequent generations (LDM, p. 164).

[...] Dessa forma, Mendel obtinha linhagens puras, isto é, com características invariáveis de uma geração para outra (LDI, v. 3, p. 14).

### *Distanciamentos identificados*

Mendel iniciou seus trabalhos com plantas de linhagens puras, ou seja, plantas que produziam descendentes com aspecto que não variava, quando realizava autofecundação.

[...] (LDE, p. 596).

### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.2.8**

#### *Aproximações identificadas*

Entretanto, Mendel quando formulou suas idéias não sabia o que era gene, alelo, cromossomo e desconhecia a meiose. Apesar disso, chegou a interpretações corretas sobre o que estava acontecendo. Ele chamava de fatores o que hoje sabemos que são genes e formulou a conclusão de seus resultados, hoje reconhecida como primeira lei de Mendel, do seguinte modo:

[...]. A identificação desses fatores com os genes veio com os estudos de Thomas Morgan, também da Universidade de Columbia, e de seus alunos Alfred Sturtevant, Calvin Bridges e Herman Müller, por meio de pesquisas com a mosca drosófila, realizadas entre 1910 e 1915 (LDF, p. 369).

Atualmente, os fatores mendelianos são denominados **genes**. [...] (LDG, p. 424).

Como as plantas de  $F_1$ , dotadas do caráter *porte alto*, originaram em  $F_2$  alguns descendentes anões, Mendel chegou à conclusão de que cada caráter dependeria da ação de um par de fatores ou de unidades hereditárias, hoje conhecidas por *genes*. [...] (LDH, v. 3, p. 63)

[...] Cada característica genética de um organismo é condicionada por **dois fatores** (que chamamos hoje de genes): um proveniente do pai e o outro, da mãe. [...] (LDI, v. 3, p. 14).

The search for the physical nature of Mendel's "factors" dominated biology for more than half a century after Mendel's work was rediscovered in 1900. We now know that the units of heredity are portions of DNA called *genes*, which are found on the chromosomes that an individual inherits from its parents (LDM, p. 169).

### *Distanciamentos identificados*

Primeira lei de Mendel:

"Cada caráter é determinado por um par de fatores, que se separam na formação dos gametas, que são sempre puros".

Hoje já com novos conceitos, podemos formular a primeira lei do seguinte modo:

"Cada caráter é determinado por um par de alelos, porém os gametas possuem apenas um desses alelos, ou seja, os gametas são sempre puros" (LDE, p. 600).

### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.3.15**

#### *Aproximações identificadas*

Poderíamos dizer, hoje, já com novos conceitos, que “os pares de alelos localizados em cromossomos não-homólogos separam-se independentemente na formação dos gametas” (LDG, p. 454).

[...] The **law of independent assortment** states that the alleles of different genes separate independently of one another during gamete formation. For example, the alleles for the height of the plant shown in Figure 7 separate independently of the alleles for its flower color. We now know that this law applies only to genes that are located on different chromosomes or that are far apart on the same chromosome (LDM, p. 169).

### *Distanciamentos identificados*

A partir de 1910, Thomas H. Morgan e colaboradores demonstraram, em uma série memorável de pesquisas com a mosquinha drosófila, que a lei da segregação independente só vigora para uma minoria de pares de genes. Um raciocínio simples mostra que ela não poderia realmente ser geral. Em qualquer animal ou planta há muito mais pares de genes do que pares de cromossomos. Portanto, um mesmo par de cromossomos carrega, forçosamente, muitos pares de genes.

Se os pares de alelos estudados num caso de diíbridismo estão próximos, no mesmo par de cromossomos, as proporções mendelianas não podem ocorrer: as classes de recombinação terão, em  $F_2$ , frequências menores do que no caso da segregação independente (LDD, v. 3, p. 68).

Ocorre que na meiose os cromossomos homólogos se emparelham e trocam pedaços (**permuta**). Se os locos dos dois genes ligados ficam extremamente próximos, é praticamente impossível que os cromossomos homólogos troquem pedaços. Nesse caso, a ligação é completa e não surgem classes de recombinação. Se os locos ligados deixam algum espaço entre eles, ocorrerão permutas que os separam com taxa proporcional à distância entre eles (LDD, v. 3, p. 70).

A formação dos nove genótipos diferentes é possível porque os alelos que condicionam o caráter “forma” e os alelos que condicionam o caráter “cor” estão situados em diferentes pares de cromossomos homólogos.

Se os alelos para os dois caracteres estivessem no mesmo cromossomo, eles não se separariam independentemente e as possibilidades de genótipos formados seriam bem menores (LDE, p. 622).

Num mesmo cromossomo, no entanto, existem vários genes, que não se separam na formação dos gametas. Eles só se separam se ocorrer permutação.

Quando considerados genes situados no mesmo cromossomo, dizemos que eles estão vinculados, referência à **vinculação** ou **ligação gênica** (LDE, p. 632)

Hoje sabemos que as leis de Mendel não explicam todas as formas de herança: a Segunda Lei não vale, por exemplo, para genes ligados, isto é, genes situados no mesmo cromossomo, uma vez que esses genes não se separam independentemente uns dos outros. No entanto, essas leis representam importante ponto de partida para o estudo da hereditariedade (LDF, p. 369).

Sabemos que os genes situados no mesmo cromossomo caminham juntos para o mesmo gameta (ligação completa). Mas esse fato nem sempre acontece porque pode ocorrer permutação ou *crossing-over* (do inglês, sobre cruzamento), ou seja, uma troca de partes entre as cromátides homólogas.

[...]

[...] Observe na figura 41.3 que, em consequência da permutação, dois genes originalmente ligados podem separar-se e migrar para gametas diferentes. Nesse caso, a meiose formará os gametas de recombinação; dizemos que houve uma ligação **parcial** ou **incompleta** (LDF, p. 400).

Na época em que Mendel realizou seus experimentos, os cromossomos não eram ainda conhecidos, fato que, evidentemente, aumenta a importância de seu trabalho. Hoje sabe-se que a *Segunda Lei de Mendel* é válida apenas no caso de genes localizados em cromossomos não-homólogos. Portanto, a segregação independente de genes para dois ou mais caracteres ocorre porque os diferentes pares de genes situam-se em cromossomos distintos (LDH, v. 3, p. 80).

Os fenômenos de ligação e permuta constituem a base do que muitos geneticistas chamam de a *Terceira Lei da Herança*, atribuída a Morgan. Essa lei pode ser assim formulada: "Genes situados no mesmo cromossomo tendem a permanecer unidos de uma geração para outra; separam-se apenas quando ocorre a permutação, cuja frequência é um reflexo, até certo ponto, das *relações espaciais* entre eles" (LDH, v. 3, p. 122).

A segregação independente, postulada por Mendel após suas experiências com duas características ao mesmo tempo, pode ser compreendida também pela observação do que ocorre com os cromossomos na meiose. No entanto, ela só vale para o caso em que **os genes para as diferentes características estejam localizados em cromossomos diferentes** (LDI, v. 3, p. 106).

[...] Genes ligados, na hora de se formarem os gametas, "viajam" juntos (a não ser que ocorra *crossing*). Em outras palavras, *A* permanece com *B*, formando o gameta *AB*, e *a* permanece com *b*, formando gameta *ab*. São produzidos somente **dois** tipos de gametas, em vez dos **quatro** tipos característicos da segregação independente. [...] (LDI, v. 3, p. 107).

#### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.4.22**

##### *Aproximações identificadas*

Tradicionalmente, aprendemos que gene é uma unidade do cromossomo, que corresponde a uma seqüência de nucleotídeos da molécula de DNA, com as informações para a síntese de uma proteína. [...]

Com o seqüenciamento do genoma humano, os pesquisadores encontraram, no entanto, evidências de que o DNA funciona de maneira mais complexa do que se imagina. Um único gene pode, por exemplo, produzir três tipos diferentes de RNAm, cada um codificando a produção de uma proteína diferente. É como se existissem genes dentro de genes! Além disso,

uma mesma molécula de RNAm pode sofrer alterações após a transcrição, também resultando em proteínas diferentes (LDE, p. 656).

O gene, em termos moleculares, é freqüentemente definido como uma seqüência de DNA necessária para a síntese de um polipeptídeo ou de uma proteína. [...] (LDI, v. 1, p. 260).

[...] Na realidade, hoje há vários indícios de que, em alguns casos, um mesmo gene, trabalhando em células diferentes, é capaz de produzir **mais de um tipo de proteína**. Isso poderia ser explicado pelo fato de existir mais de uma forma de "cortar" o mesmo pré-RNA, o que resultaria, em cada caso, em segmentos diferentes utilizados como éxons. Essas novas combinações poderiam assim originar RNA mensageiros diferentes, e, como consequência, proteínas diferentes (LDI, v. 1, p. 262).

#### *Distanciamentos identificados*

[...] Estudos experimentais comprovaram que é a molécula de DNA que contém os genes; portanto, é ela que comanda e coordena toda a função celular. Esses estudos demonstraram também que cada gene comanda a síntese de determinada proteína ou polipeptídeo e que desse processo participam moléculas de RNA. [...] (LDG, p. 106).

#### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.4.23**

#### *Aproximações identificadas*

O gene, em termos moleculares, é freqüentemente definido como uma seqüência de DNA necessária para a síntese de um polipeptídeo ou de uma proteína. Há, no entanto, ao longo dos cromossomos, algumas seqüências de DNA especializadas capazes de transcrever, mas que não contêm informação para a síntese de proteínas. Trata-se, por exemplo, das seqüências que

produzem os diferentes tipos de RNA transportadores, com seus variados anticódons, ou das que fabricam os RNA ribossômicos. Alguns autores falam, nesses casos, em "genes para RNAt", ou ainda, "genes para RNAr" (LDI, v. 1, p. 260).

Different types of RNA are made during transcription, depending on the gene being expressed. When a cell needs a particular protein, it is messenger RNA that is made. [...] (LDM, p. 211).

#### *Distanciamentos identificados*

[...] Estudos experimentais comprovaram que é a molécula de DNA que contém os genes; portanto, é ela que comanda e coordena toda a função celular. Esses estudos demonstraram também que cada gene comanda a síntese de determinada proteína ou polipeptídeo e que desse processo participam moléculas de RNA. [...] (LDG, p. 106).

Um *gene* corresponde à porção da molécula de DNA capaz de codificar a síntese de uma proteína. [...] (LDH, v. 1, p. 81).

#### **Trechos referentes ao distanciamento 3.2.4.60**

#### *Distanciamentos identificados*

Repare, pela figura.1, que o sitio **P** já está ocupado pelo RNAt que carrega o aminoácido *metionina*. Ele é codificado por apenas um códon: *AUG*, que corresponde à tríade TAC no DNA. Esse códon também é chamado de "*códon de iniciação*", pois sempre o primeiro aminoácido de uma cadeia polipeptídica é determinado por esse códon (LDE, p. 649).

[...] O códon AUG codifica a metionina e determina o início de uma nova cadeia [...] (LDF, p. 90).

Toda molécula de RNAm possui:

- um **códon de iniciação**, que é sempre o mesmo (**AUG**), correspondente ao aminoácido **metionina** (LDG, p. 108).

A observação da tabela nos fornece algumas informações interessantes. Repare, em primeiro lugar, que o códon AUG, realçado em verde, além de codificar o aminoácido metionina, também serve como um códon de iniciação, que é interpretado pelo ribossomo como "a leitura começa a partir daqui". [...] (LDI, v. 1, p. 264).

[...] The mRNA "start" codon AUG, wich signals the beginning of a protein chain, is oriented in a region of the ribosome called the P site, where the tRNA molecule carrying methionine can bind to the start codon. (LDM, p. 212)