

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Márcia Cristina Pinheiro

CONCEITOS BÁSICOS NO ENSINO DE GENÉTICA:
do livro didático ao estudante

Porto Alegre
2010

Márcia Cristina Pinheiro

CONCEITOS BÁSICOS NO ENSINO DE GENÉTICA:
do livro didático ao estudante

Trabalho de conclusão do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, realizado durante o 2.º semestre de 2010 e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.^a Marion Schiengold

Porto Alegre
2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

Márcia Cristina Pinheiro

CONCEITOS BÁSICOS NO ENSINO DE GENÉTICA:
do livro didático ao estudante

Trabalho de conclusão do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, realizado durante o 2.º semestre de 2010 e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.^a Marion Schiengold

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Marion Schiengold – UFRGS

Prof.^a Russel Teresinha Dutra da Rosa – UFRGS

Prof.^a Eliane Kaltchuk dos Santos – UFRGS

RESUMO

A genética se destaca dentro das ciências biológicas como uma área em constante expansão e de cada vez mais visibilidade. Contudo, o entendimento dos processos genéticos depende de conhecimentos básicos, muitas vezes negligenciados na escola e/ou abordados de forma ineficaz, resultando na incorporação superficial de conceitos científicos pelo aluno.

O livro didático, muitas vezes a única ferramenta disponível para enriquecer o conteúdo, nem sempre traz conceitos claros e isso se reflete na dificuldade com que os alunos definem, eles próprios, tais conceitos. A dificuldade na aquisição de um vocabulário básico restringe a posterior compreensão de assunto mais complexos.

Foram analisados seis livros didáticos quanto à correção de oito termos básicos de genética, além de avaliados como esses mesmos termos são conceituados por alunos de Ensino Médio. Tanto nos livros como nos questionários, respondidos pelos alunos, fica evidente a falta de clareza quanto à relação entre os termos e o sentido correto atribuído a cada um deles.

Sem a apropriação de conceitos simples, é tortuoso construir significados para temas mais sofisticados. O conhecimento prévio, muitas vezes conflitante com o científico, perdura no discurso dos alunos, ainda que seja trabalhado o conteúdo formal. Sem a desconstrução dos pré-conceitos se torna inviável a instauração do pensamento científico.

Palavras-chave: Genética. Conceitos básicos. Conhecimentos prévios. Livro didático.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	6
2 Objetivos.....	10
3 Material e métodos.....	11
4 Resultados e análise dos livros didáticos.....	13
4.1 LIVRO A.....	13
4.2 LIVRO B.....	15
4.3 LIVRO C.....	17
4.4 LIVRO D.....	19
4.5 LIVRO E.....	21
4.6 LIVRO F.....	23
5 Resultados e análise dos questionários.....	25
6 Reflexões acerca dos termos.....	30
7 Considerações finais.....	33
Referências Bibliográficas.....	35
Anexo A – Instrumento de pesquisa.....	38
Anexo B – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	40

1 Introdução

Os avanços científicos que ocorreram recentemente nas Ciências Biológicas, especialmente na área de Genética e Biologia Molecular, geraram um volume muito grande de novas informações e de conhecimentos. A publicação destas novas concepções e descobertas nem sempre tem sido feita de modo claro e correto tanto na edição de livros didáticos destinados ao Ensino Médio no Brasil (VILAS-BOAS, 2006) quanto na literatura de divulgação científica. Parte do problema para se entender temas mais complexos advém de uma prévia dificuldade em se entenderem conceitos mais simples (MELO; CARMO, 2009), seja porque estes servem de fundamento para o entendimento daqueles ou porque o sujeito não tem clareza dos termos básicos, ou seja, os construiu de forma equivocada, o que compromete a compreensão do todo (TARDIF, 2002; BECKER, 2003).

A dificuldade na conceituação de termos básicos na área de genética, verificada até mesmo em livros destinados ao ensino superior de biologia (SORDI et al., 2009), torna essa ciência aparentemente mais difícil do que ela é. A genética, tão presente no cotidiano e na mídia, é freqüentemente mal interpretada devido a pré-conceitos e generalizações (MORTIMER, 1996) e, dentro de sala de aula, desconstruir esses conhecimentos para se instaurar o pensamento científico entre os alunos é uma tarefa árdua que compete ao professor, apoiado muito vezes apenas no livro didático (CASAGRANDE, 2006).

Em geral, ao se estudar genética na escola, costuma-se introduzir o conteúdo através de exemplos cotidianos, seguidos de um estudo mais aprofundado tendo como tema central os estudos de Gregor Mendel. É comum encontrar seus experimentos ilustrando os capítulos iniciais de genética nos livros didáticos de ensino médio.

Raramente as descobertas de Mendel são devidamente contextualizadas. Apesar deste pesquisador ser considerado pai da Genética, o interesse pelos caracteres hereditários e sua manipulação está presente na história do homem desde civilizações antigas (BRANDÃO; FERREIRA, 2009). Antes de Mendel publicar seus resultados, em 1866, não se conheciam os mecanismos da herança genética, embora já houvesse esforços para tentar elucidar como as características dos seres vivos passavam de uma geração à outra. Antes mesmo de Mendel realizar seus experimentos, Charles Darwin descrevia o mecanismo de seleção natural em sua obra “A origem das espécies”, ainda que sem o suporte genético que hoje sustenta o Neodarwinismo. Muitas teorias tentaram, antes de Mendel, traçar as leis da herança, todas sem su-

cesso. Mendel obteve êxito em seus experimentos por escolher como organismo-modelo uma planta de fácil cultivo, gerações curtas e caracteres facilmente reconhecíveis; ainda, seus estudos se destacam por terem sido pioneiros na quantificação e registro dos dados (BRANDÃO; FERREIRA, 2009), o que possibilitou que Mendel formulasse suas leis.

A partir do século XX, o trabalho de Mendel é redescoberto (DELLA JUSTINA et al, 2010) e novas investigações impulsionam esta área do conhecimento que, em menos de um século, avançou muito, graças ao posterior advento da biologia molecular. Parte da nomenclatura usada no estudo da genética básica é creditada a Mendel, embora hoje os conceitos cunhados por ele tenham ganhado interpretações moleculares.

Nos últimos anos, a genética vem se popularizando de forma rápida e cada vez se faz mais presente na vida cotidiana das pessoas – ela deixou de ser assunto exclusivo dos cientistas e está na novela, no jornal, nos debates políticos e até nos programas de auditório. Está presente no nosso consumo, em produtos farmacêuticos, no supermercado e nos alimentos transgênicos, fazendo parte da nossa rotina diária (PEDRANCINI et al., 2007).

A tomada de decisão frente a um dilema depende fundamentalmente de se estar munido de informação suficiente que permita uma escolha consciente (BECKER, 2001; FREIRE; GUIMARÃES, 1988). Com dilemas científicos não é diferente – o cidadão precisa conhecer o assunto para se posicionar quanto às inovações tecnológicas ou polêmicas antigas que ganham novos vieses graças ao avanço científico (SILVA, 2000). Atualmente, temas estreitamente relacionados com a genética (transgênicos, terapia gênica e células-tronco) vêm ganhando espaço na mídia (e na escola, em menor escala), por seu cunho polêmico. Para que o sujeito possa compreender e debater tais inovações é necessário que haja uma prévia alfabetização científica, crucial para a incorporação dos conceitos mais simples e sucessiva interpretação daqueles que exigem maior complexidade (CHASSOT, 2003).

Paiva e Martins (2006) analisaram conhecimentos prévios de estudantes de Ensino Médio sobre alguns temas na área da genética. A partir da análise das respostas escritas pelos alunos, os autores identificaram que, embora a maior parte dos alunos já trouxesse algum conhecimento sobre os temas pesquisados, vários estudantes apresentavam concepções errôneas do ponto de vista científico. Os alunos exibiam dificuldade no entendimento de vários aspectos a respeito de genética, e não raro mostravam-se confusos diante da quantidade de informações a respeito do tema. Outro estudo recorre a um procedimento semelhante, investigando termos de biologia molecular, dessa vez com alunos já (teoricamente) familiarizados com a

genética escolar. O resultado é semelhante, mostrando que mesmo depois de se estudar formalmente o conteúdo, muitas das concepções equivocadas permanecem intactas no discurso dos jovens (LIMA; PINTON; CHAVES, 2007).

Essas concepções errôneas muitas vezes têm sua gênese em informações deturpadas pela mídia ou ainda professores perpetuando conceitos errados e/ou preconceituosos. Em geral, o aluno chega à sala de aula com, pelo menos, uma vaga idéia sobre o assunto e é em cima dessa idéia que o professor deve trabalhar, favorecendo a construção do conhecimento científico pelo próprio aluno (GIORDAN; VECCHI, 1996). Se, ao invés disso, a escola contribui para que tais conceitos permaneçam obscuros ou não cumpre seu papel na formação do pensamento crítico do aluno, tais incorreções não são superadas, resultando em sujeitos cientificamente analfabetos.

O uso de imagens, aliadas sempre presentes quando se ensina ciências, pode ser uma ferramenta extremamente benéfica, que possibilita ao aluno atingir as abstrações necessárias para se compreender aquilo que se dá em nível molecular. Por meio de ilustrações, o sujeito é capaz de compreender conceitos e processos mais dinamicamente, se comparado ao uso de linguagem escrita (MARTINS, 2005). O uso de imagens pelo professor é, em geral, atrelado ao uso do livro didático, uma vez que o docente se vale das ilustrações do livro na falta de recursos gráficos mais adequados.

É sabido que o Livro Didático constitui um recurso muito utilizado por professores e alunos, servindo de base para os professores na preparação de suas aulas e na organização de seus planejamentos, e sendo freqüentemente usado pelos alunos como única ou principal fonte de consulta, desempenhando um papel importante nas escolas brasileiras (CASA-GRANDE, 2006). O livro didático tem um papel de destaque na maior parte das escolas, sendo considerado muitas vezes mais do que um objeto pedagógico, mas também um catalisador da cidadania (VASCONCELOS; SOUTO, 2003). É sem dúvida a ferramenta de ensino-aprendizagem mais presente nas escolas e que dá suporte à organização curricular, planejamento e preparo de aulas, bem como de outros materiais inseridos no contexto do Ensino Fundamental e, mais recentemente, do Ensino Médio (XAVIER; FREIRE; MORAES, 2006).

De acordo com Franco (1992 apud XAVIER; FREIRE; MORAES, 2006), o livro didático é implementado de forma oficial nas nossas escolas em 1938 e ao longo de mais de 70 anos seu uso vem sendo cada vez mais popularizado. Nessa mesma época, o governo estabelece sua primeira política pública voltada aos livros didáticos. O que hoje se conhece como

Programa Nacional do Livro didático (PNLE) se consolida como programa abrangente de distribuição gratuita de livros para o ensino fundamental em 1995, onde toda escola pública tem garantido o direito de receber acervos de livros didáticos de nível fundamental para seu corpo discente. O ensino médio passa a ser contemplado a partir de 2004, com a criação de um programa próprio, o Plano Nacional do Livro para o ensino Médio (PNLEM). Inicialmente, as disciplinas de português e matemática são as primeiras a entrar no programa e, em 2007, a biologia é incluída. A partir de 2007, toda escola da rede pública tem o direito de solicitar livros para o apoio do ensino de Ciências e Biologia e assim o faz, colaborando para o papel de destaque e importância dados a esse instrumento.

Sendo assim, é de se esperar que os conceitos trazidos nos livros sejam utilizados por professores e alunos como dogmas e pouco se questione a veracidade deles. A maioria dos professores baseia sua organização de aulas em livros didáticos, mesmo que eles não estejam inseridos no cotidiano escolar, fazendo deles um autêntico “diário de bordo”, no qual os conteúdos a serem trabalhados são ali estudados muitas vezes mecanicamente. (XAVIER; FREIRE; MORAES, 2006).

Depois de 1995, quando o MEC passou a avaliar os livros de biologia, já se percebe uma substancial mudança em seus conteúdos, em relação à qualidade dos textos, ilustrações e esquemas presente no livro (NÚÑEZ et al., 2003).

Dentro desta problemática insere-se o presente trabalho, que visa analisar os conceitos trazidos nos livros e nos discursos dos estudantes acerca de genética, um tema tão presente e ao mesmo tempo tão polêmico no cotidiano, e ainda, buscar relações de causa e efeito entre essas duas esferas.

2 Objetivos

Com base nas idéias apresentadas e na literatura analisada, o presente trabalho tem como principais objetivos:

- a) analisar as definições encontradas em livros utilizados no Ensino Superior e no Ensino Médio para oito termos básico selecionados da área de genética;
- b) comparar a forma como esses termos aparecem conceituados nos glossários dos livros didáticos de Ensino Médio com as definições presentes no corpo desses mesmos livros;
- c) verificar, através da aplicação de questionários de que forma tais conceitos aparecem no discurso de alunos do Ensino Médio.

3 Material e métodos

A escolha dos Livros Didáticos foi feita com base no PNLEM de 2010, que indica nove títulos para o Ensino de Biologia. Dentre os nove títulos, cinco se apresentam no formato “volume único”, enquanto os outros quatro aparecem divididos em três volumes. Para fins de análise, foram considerados os cinco livros de volume único indicados no PNLEM e mais outro livro de volume único, uma vez que o mesmo consiste na escolha da escola participante (o PNLEM indica a coleção em três volumes destes mesmos autores).

Tabela 1. Livros de Ensino Médio analisados.

Título	Autor(es)	Editora	Ano	Código
Biologia: vol. único	José Arnaldo Favaretto e Clarinda Mercadante	Moderna	2005	Livro A
Biologia: vol. único	Sérgio Linhares e Fernando Gewandsznajder	Ática	2009	Livro B
Biologia: ensino médio, vol. Único	J. Laurence	Nova Geração	2006	Livro C
Biologia (Ensino Médio)	Augusto Adolfo, Marcos Crozeta e Samuel Lago	IBEP	2005	Livro D
Biologia – vol. único	Sônia Lopes e Sérgio Rosso	Saraiva	2008	Livro E
Fundamentos de Biologia Moderna	José Mariano Amabis e Gilberto Rodrigues Martho	Moderna	2009	Livro F

A escolha dos termos analisados foi feita com base na sua importância para o entendimento dos conteúdos estudados em genética clássica mendeliana, e são eles: *dominante*, *recessivo*, *homozigoto*, *heterozigoto*, *loco gênico*, *alelo*, *genótipo* e *fenótipo*. Todos os livros selecionados definem de alguma forma os termos escolhidos. As definições para cada termo presentes nos Livros Didáticos de Ensino Médio foram comparadas com aquelas presentes nos Livros de Ensino Superior (já consolidados quanto sua correção), bem como dentro do próprio livro, confrontando os diferentes sentidos dados a um mesmo termo.

Os livros de Ensino Superior usados como fonte para conceituação dos termos foram escolhidos entre a bibliografia especializada da área. Compõem a bibliografia básica das

disciplinas de genética da UFRGS, além de figurarem como literatura recomendada para a pós-graduação.

Tabela 2. Livros de Ensino Superior utilizados.

Título	Autores	Editora	Ano/edição
Fundamentos de Genética	D. Peter Snustad, Micheal J. Simmons	Guanabara Koogan	2008 4ª edição
Introdução à Genética	Antony J. F. Griffiths, Susan R. Wessler, Richard C. Lewontin, Sean B. Carroll.	Guanabara Koogan	2009 9ª edição

A escola de Porto Alegre escolhida para participar do trabalho foi definida por ter tido um dos melhores desempenhos no ENEM 2009 (Exame Nacional do Ensino Médio). Participaram do trabalho quatro turmas de Ensino Médio (de 2^{os} e 3^{os} anos), totalizando 60 alunos. Por razões éticas, o nome da escola não será divulgado.

Os questionários aplicados constam de questões de resposta livre e outras de múltipla escolha, selecionadas a partir de provas anteriores de concurso vestibular que contemplam os conceitos analisados (Anexo A). Os questionários foram aplicados após prévia concordância por parte da Instituição de Ensino envolvida, bem como a permissão por parte dos indivíduos envolvidos e seus responsáveis por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo B).

4 Resultados e análise dos livros didáticos

Para fins de análise foram considerados seis livros didáticos, todos de volume único, sendo cinco deles indicados pelo MEC e o outro utilizado na escola participante da pesquisa. Os livros estão indicados por letras, de A a F, conforme tabela 1.

Para cada um dos livros, foram considerados os capítulos de genética onde os termos de interesse apareceram conceituados. No corpo do texto, foram avaliados qualitativamente aspectos como a ordem em que os termos aparecem, se são feitas ou não relações entre eles, se o termo é conceituado a partir de exemplos e a quantidade e qualidade das ilustrações associadas ao texto. Foram consideradas como ilustração fotos, desenhos, esquemas e demais recursos gráficos. Ainda, verificou-se a coerência e a correção dos glossários de cada livro.

4.1 LIVRO A

O livro A consta de 362 páginas (um dos menores livros analisados) e dedica um capítulo para introdução à genética (Capítulo 13 – Bases da hereditariedade), onde os conceitos são apresentados pela primeira vez ao leitor. O capítulo é pequeno (dez páginas, incluindo os exercícios) e trata de cada termo de forma um pouco desconexa, não deixando claras as relações entre eles. Logo no primeiro subitem do capítulo (“Vocabulário da herança”) são apresentados nove termos novos – e não por coincidência, oito deles são os escolhidos para análise. Antes de analisarmos a correção dos conceitos, é importante atentar para o fato de que, em pouco mais de uma página, são introduzidos ao aluno nove novos vocábulos, cujo entendimento é crucial para a compreensão da genética, de forma pouco contextualizada e são utilizadas apenas três ilustrações nesse trecho.

O primeiro conceito novo que aparece no texto é *gene* – depois de defini-lo rapidamente, o autor aproveita e traz outro conceito: “O lugar ocupado por um gene no cromossomo é o *loco gênico*”. De acordo com a bibliografia de Ensino Superior consultada, não há erro de conceituação, porém o termo aparece “perdido” no texto e não há ilustração clara que mostre a posição de um loco no cromossomo, tampouco esse termo volta a ser usado no restante do capítulo.

Em seguida, *alelos* são descritos como “formas alternativas de um gene, que atuam sobre a mesma característica”. A partir daqui, o autor toma cuidado ao empregar os termos *alelo* e *gene*, favorecendo a diferenciação desses dois conceitos.

O parágrafo seguinte conceitua *genótipo* e *fenótipo*, sem fazer quaisquer relações com alelos ou locos gênicos – o autor simplesmente segue o texto apresentando os novos conceitos ao leitor. *Genótipo* é definido como “a constituição genética de um organismo” e está de acordo com a bibliografia de ensino superior consultada. No entanto, o *fenótipo* é descrito como “o conjunto de características geneticamente determinadas de um ser vivo, internas ou externas” e tal definição não está clara. Na seqüência do texto, o autor considera que o fenótipo, em alguns casos, pode sofrer ação do ambiente e como exemplo ele cita as flores da Hortêncica que mudam de cor de acordo com o pH do solo. Ainda assim, segundo Snustad, o fenótipo não se limita ao que o genótipo determina e as características adquiridas, como uma cicatriz ou pintar os cabelos, constituem nosso fenótipo. Sendo assim, o Livro A peca ao não incluir tal definição. Além disso, o livro A define fenótipo como conjunto de caracteres, quando seu uso mais freqüente na verdade se refere a um único caractere de cada vez.

Os termos *dominante* e *recessivo* são os próximos a aparecer. Depois de levar em consideração que os alelos ocorrem aos pares em indivíduos diplóides, o autor argumenta que *alelo dominante* “é aquele que pode se manifestar tanto em dose dupla como em dose simples” e *alelo recessivo* “só se expressa em dose dupla”. Em geral, manifestação e expressão de um alelo aparecem como sinônimos, mas em nenhum momento o autor entra em detalhes moleculares do que significam esses processos. O livro conceitua ambos os termos bem, de acordo com a literatura usada. Porém, o livro A não explora os motivos que fazem o alelo dominante produzir o mesmo efeito em dose simples e dupla e isso contribui para que o leitor “decore” que é assim, sem conhecer as razões da afirmação.

Por fim, encerrando o primeiro subitem do capítulo, o autor se vale de um exemplo para conceituar *homozigoto* e *heterozigoto*. Partindo de um alelo dominante hipotético *C* que confere às vagens um aspecto inflado e seu correspondente recessivo *c* que resulta em fenótipo constricto, “um indivíduo é *homozigoto* quando possui dois alelos iguais (*CC* ou *cc*)” e “o genótipo *Cc* corresponde ao indivíduo *heterozigoto*”. Apesar de corretos, não são feitas quaisquer relações dos termos com mitose e meiose, importantes para o entendimento do assunto.

Mais adiante, alguns termos analisados aparecem de novo, quando o livro trata da Primeira Lei de Mendel e explica os experimentos feitos por ele com ervilhas-de-cheiro. Aqui, o livro A postula que *fenótipo dominante* é aquele que aparece na F1 resultante do cruzamento de plantas puras e o *fenótipo recessivo* volta a surgir na F2 resultante de autofecundação da F1. Ainda, é ressaltado que as linhagens *puras* e *híbridas* que aparecem nos estudos de Mendel são o que hoje chamamos de *homozigotas* e *heterozigotas*.

Ao contrário da maioria dos livros didáticos analisados, o Livro A traz os experimentos de Mendel depois de conceituar os termos básicos. Enquanto os outros livros tendem a aproveitar os clássicos cruzamentos das ervilhas como fundamento para definir os conceitos básicos, o Livro A os utiliza apenas como um exemplo e como ponto de partida para a formulação da Primeira Lei.

De maneira geral, o Livro A não erra ao conceituar os termos básicos, mas ao defini-los pouco relaciona uns com os outros e praticamente não ilustra o que explica no texto. Além disso, o pouco espaço destinado à genética no livro compromete a qualidade dos capítulos, que são muito enxutos e não trazem as informações suficientes para a resolução de alguns exercícios propostos.

Outro aspecto analisado nos livros foi a correção dos termos no glossário, porém, o Livro A não apresenta glossário.

4.2 LIVRO B

Com 552 páginas, o Livro B dedica uma Unidade ao estudo da genética e o primeiro capítulo, em que os conceitos básicos são introduzidos ao leitor, trata dos experimentos de Mendel (Capítulo 37 – Primeira Lei de Mendel).

O livro inicia o capítulo contextualizando historicamente os experimentos de Mendel e em seguida reproduz o que Mendel teria previsto com seus cruzamentos com ervilhas. Ao expor os resultados obtidos por ele, os autores definem como *dominante* aquela característica presente na prole quando se cruzam linhagem puras, e *recessivo* como sendo a característica que permanece “escondida” nessa mesma prole, mas que torna a surgir num segundo cruzamento.

No texto que se segue, esses dois termos não voltam a ser definidos e passam a figurar como conceitos já entendidos pelo leitor. O livro carece de uma definição apropriada para ambos os termos (isso é parcialmente sanado pela definição trazida no glossário, analisada posteriormente).

Depois de descritos os experimentos de Mendel, o livro traz a interpretação atual dos resultados obtidos por ele, onde os outros termos aparecem pela primeira vez.: “Neles [cromossomos homólogos], os genes situados na mesma posição (*loco gênico*; do latim *locus* = lugar) controlam o mesmo tipo de característica e são chamados de *genes alelos* ou, simplesmente, *alelos*.”

No trecho acima, *loco gênico* aparece como sendo a posição de um gene e os autores incluem sua etimologia, reforçando a idéia de lugar, posição dentro do cromossomo. Porém, a definição de *alelo* está confusa, não estando explícito que alelos são as formas alternativas de um mesmo gene. A explicação trazida pelos autores contribui para que o aluno confunda os conceitos de gene e alelo, e o próprio livro repete esse equívoco diversas vezes. Além disso, “gene alelo” parece ser uma tradução errônea do inglês de “gene allele” que significa, na verdade, “alelo gênico”.

Genótipo é definido como “o conjunto de genes que um indivíduo possui em suas células”, enquanto *fenótipo* aparece como “o conjunto de características morfológicas ou funcionais do indivíduo”. Apesar de sucintas, ambas as definições estão corretas, de acordo com Snustad e Griffiths, embora não privilegie a principal definição usada em genética para fenótipo, ou seja, aplicada a um única característica e não a um conjunto delas. É importante ressaltar que o sentido atribuído ao fenótipo pelos autores corrobora com aquele trazido por Snustad, que considera inclusive características não-genéticas como constituintes do fenótipo. Quanto ao fenótipo e ao genótipo, Griffiths ressalta que os termos podem ser usados tanto para escala celular (o que corrobora com o Livro B) como em nível de indivíduo ou também de gene – nesse aspecto, o Livro B acerta na definição, mas de forma incompleta.

Assim como no Livro A, os termos *homozigoto* e *heterozigoto* são explicados por meio de exemplos no livro B: “As ervilhas VV e vv são puras ou *homozigotas*. A ervilha Vv é híbrida ou *heterozigota*.” O alelos V e v foram anteriormente apresentados ao leitor, mas foram chamados de genes: “... o gene para amarelo (dominante) é chamado de V e o gene para verde de v.” A confusão entre gene e alelo segue por todo o capítulo, mas não compromete o entendimento do que é homozigoto e heterozigoto. Porém, os autores não conceituam de for-

ma clara, se valem de exemplos para explicar os conceitos e pouco citam sobre a origem dos termos em questão – a exceção é uma consideração desconectada do resto do texto, quando o capítulo retoma a meiose, onde os autores lembram que “indivíduos de genótipo Vv formam células com o gene V e células com o gene v”.

O livro B, ao contrário do livro A, possui glossário. Assim, a carência de definições observadas no corpo do texto pode, ainda que de não de forma plenamente satisfatória, sanar possíveis dúvidas do leitor.

Apesar do crasso erro de tradução, *gene alelo* aparece com uma definição adequada de alelo, mais completa que aquela encontrada no corpo do texto. O glossário também conceitua *gene dominante* – “gene que determina uma característica mesmo em presença do gene alelo recessivo” – e *gene recessivo* – “gene que determina uma característica apenas quando se encontra ausente o gene alelo dominante” –, mantendo a confusão entre gene e alelo presente no texto. É importante notar que ambas as definições remetem uma à outra, ou seja, uma não faz sentido sem o entendimento da outra, como se não fossem conceitos independentes.

O glossário define *fenótipo* como “características de um indivíduo determinadas pelo genótipo em interação com fatores ambientais”. Para alguns autores, isso é correto, mas é curioso que o próprio livro traga, no corpo do texto, outra definição, mais ampla que não se restringe ao genótipo.

Os demais termos aparecem bem definidos, corretos e de acordo com o resto do livro.

4.3 LIVRO C

Antes da análise, se faz necessário um esclarecimento a respeito do livro C: diferente de todos os outros livros analisados, o livro C apresenta um Glossário etimológico, e não um glossário convencional. Assim, à medida que novos termos são introduzidos no texto, o autor sugere ao leitor que busque encontrar o sentido daquela nova palavra com ajuda do glossário etimológico. Ainda, no corpo do texto é comum encontrar “caixas de hipertexto” com informações adicionais, bem como definições (na falta de um glossário, talvez essa tenha sido a solução encontrada pelo autor).

O livro C tem 696 páginas, sendo destinada uma unidade bastante densa (100 páginas) ao estudo da genética (Capítulos 35 a 41). Porém, um dos primeiros conceitos aparece ainda no Capítulo 10 – Núcleo e divisão celular: “... cada gene ocupa um determinado lugar, denominado *loco gênico*”. Ainda que brevemente definido, o conceito tem clareza e é apresentado ao leitor precocemente, bem antes do estudo de genética. Isso porque os conteúdos, em biologia, são interconectados e o estudo da meiose, embora figure junto com outros conteúdos de citologia, é estreitamente correlacionado com a genética (CASAGRANDE, 2006). Assim, mesmo que pareça deslocado, incluir a definição de loco gênico no capítulo 10 me parece acertada.

A Unidade que trata de genética começa no Capítulo 35 – Genética: Primeira Lei de Mendel. O autor não foge àquela que parece ser regra no ensino de genética: introduzir o assunto por meio dos experimentos de Mendel. Assim, como no livro B, os termos *dominante* e *recessivo* aparecem como uma conclusão a que Mendel teria chegado observando seus resultados: “A característica que se manifesta nas gerações que não formam linhagens puras é chamada *dominante*, ao passo que a característica que não se manifesta é a *recessiva*”. Por intermédio de um exemplo, o autor complementa a definição: “O caráter liso é determinado por um *gene*, que é *dominante* em relação ao seu *alelo*, que determina o aspecto rugoso da semente. Assim, o aspecto rugoso só se manifesta quando o alelo que determina o aspecto liso não está presente”.

Apesar de não deixar explícito, subentende-se que o aspecto rugoso é recessivo. A sentença é clara para o entendimento da relação de dominância e recessividade, embora o autor faça confusão entre gene e alelo no começo da frase. Assim como no livro B, o texto carece de uma definição de dominante e recessivo por si só e fica atrelada ao emprego de um exemplo (no caso, a ervilha estudada por Mendel).

Genótipo e *fenótipo* aparecem apenas citados no texto, estando suas definições presentes numa “caixa de hipertexto” na lateral na página. Segundo o autor, *genótipos* são “pares de alelos de um indivíduo relacionados na determinação de um caráter ou conjunto de características” e tal definição foge daquelas encontradas na literatura especializada. Aqui, a definição parece restrita a uma determinada característica e não vincula o genótipo ao conjunto gênico total do indivíduo. Já *fenótipo* é definido como “características ou aspectos apresentados por um indivíduo, que são determinadas pelo genótipo e moduladas por fatores do meio”. Bastante completo, o conceito trazido no livro C é considerado correto por Griffiths, mas por exigir a relação com o genótipo não corrobora com Snustad.

Ao falar de homozigose e heterozigose, o livro C utiliza os termos *homozigótico* e *heterozigótico* (diferentemente dos livros A e B, onde eram usados *homozigoto* e *heterozigoto*, respectivamente). O autor sugere que o leitor recorra ao glossário etimológico para um melhor entendimento dos conceitos. Lá constam, entre outros, os prefixos *homo* e *hetero* e seus significados, bem como o radical *zigoto*. Apesar do livro C não oferecer uma explicação esmiuçada desses conceitos, a ferramenta de glossário etimológico pode ser suficiente na construção do conhecimento por parte do aluno-leitor. No corpo do texto, o autor se limita a definir como *homozigótico* aquele “que têm alelos iguais” e *heterozigótico* aquele “que tem alelos diferentes”.

Ainda sobre esses dois termos, o autor exemplifica um cruzamento entre dois indivíduos heterozigóticos, ilustrado num quadro de Punnet. No entanto, a nomenclatura usada no quadro é diferente daquela usada no texto (no quadro, está *homozigoto* e *heterozigoto*), evidenciando uma falta de coerência quanto à forma escolhida para se referir aos conceitos.

No fim do capítulo, numa seção destinada a aprofundar os conhecimentos trabalhados (“Vamos criticar o que estudamos?”), os *alelos* ganham destaque. No texto dedicado a eles, o autor diz que “*alelos* são formas alternativas (ou variações) de um gene que condiciona um determinado aspecto”. Quanto à correção, o trecho é preciso. Na seqüência, o autor aproveita para esclarecer que nem sempre alelos dominantes são “melhores” que os recessivos, tampouco é regra eles serem mais freqüentes na população. Ainda, aponta para um erro comum: o de se achar que o dominante “domina” o recessivo.

Como citado anteriormente, o livro C não dispõe de glossário (tendo apenas um pequeno glossário etimológico).

4.4 LIVRO D

O menor dentre os analisados, o livro D conta com 344 páginas das quais menos de 30 são dedicadas à genética. No capítulo que introduz o assunto (Unidade 8 – Capítulo 1 – Introdução ao estudo da hereditariedade), o autor contextualiza, brevemente, o objeto de estudo da genética e já aparece o primeiro termo: “Cada gene ocupa um lugar definido no cromossomo, denominado *loco gênico*”.

Na seqüência, antes de tratar dos experimentos de Mendel, o livro D traz o que chama de “Conceitos Fundamentais”. Como o livro não possui glossário, leva a crer que se trata de uma estratégia para, antes de iniciar o estudo, apresentar a nomenclatura usada na área e o seu sentido (porém, tal estratégia não se repete em todos os capítulos).

Neste subitem do capítulo, dez termos são conceituados, entre eles os analisados. Vale ressaltar que os termos aparecem em forma de lista (inclusive numerados), numa seqüência massiva de novos conceitos a serem incorporados pelo leitor. Isso é feito com definições objetivas (e por vezes superficiais), com carência de ilustrações.

Depois de apresentar os conceitos *genética* e *gene*, o livro D define *genes alelos* (repetindo o erro de tradução cometido no livro B) da seguinte maneira: “cada caráter é devido à presença de, no mínimo, dois fatores ou genes, que formam um par alelomorfo ou *alelo*”. Além de confusa, a definição não está correta. A ilustração é pobre e o exemplo dado ao leitor para facilitar o entendimento é inverídico: “a cor castanha dos olhos é alélica à cor azul”. Apesar de aceito antigamente, hoje se sabe que a cor dos olhos é poligênica e deriva da ação de muitos alelos em conjunto, mas o exemplo leva o leitor ao erro.

A seguir, *homozigoto* é apresentado ao leitor por meio de uma condição: “Se, para um determinado locus (posição do gene), as células de um indivíduo apresentam o mesmo gene em ambos os cromossomos homólogos, o indivíduo é denominado *homozigoto*”. Aqui, o livro reforça o sentido de loco gênico, mas chama de gene o que na verdade são alelos – o que não acontece na definição seguinte de *heterozigoto*: “Quando os dois membros de um par de alelos são diferentes ou contrastantes”. Os conceitos estão incompletos e não há coerência na nomenclatura adotada pelos autores, visto que no primeiro caso se refere a genes e no segundo, a alelos. Destaca-se o fato de que, no restante do livro, é adotada a nomenclatura *homozigótico* e *heterozigótico*, em outro sinal claro de falta de coerência entre os trechos analisados.

O livro D descreve *genótipo* como “... o patrimônio hereditário, ou seja, o conjunto de genes que um indivíduo recebeu de seus pais”. O livro ainda ressalta que, a exceção das mutações, o genótipo não se altera por influência do ambiente. Quando fala de *fenótipo*, o sentido dado incorpora a idéia de Snustad, que inclui características adquiridas – inclusive, o livro D dá o exemplo de uma cicatriz como parte do genótipo de uma pessoa e salienta que isso não é passado à geração seguinte.

Por fim, encerrando a lista de “conceitos fundamentais”, os autores conceituam de forma infeliz *caráter dominante*: “é aquele que se manifesta quando o gene está em dose

simples ou dupla, por possuir mais força que seu alelo.” De novo, a confusão entre gene e alelo aparece. Porém, o mais preocupante na definição é a justificativa dada pelos autores, atribuindo ao alelo dominante “maior força” do que o alelo recessivo: isso reforça a idéia errônea de que o dominante domina sobre o recessivo por ser mais forte, maior ou melhor. Segundo o livro D, *caráter recessivo* “é aquele que se manifesta quando seu gene determinante estiver em dose dupla”. Além da habitual troca entre gene e alelo, os autores não explicitam que o caráter recessivo só se expressa em dose dupla (da forma como é definido, não está claro que há essa limitação).

Como dito anteriormente, o livro D não possui glossário.

4.5 LIVRO E

O livro E têm, ao todo, 608 páginas distribuídas em sete Unidades. Dessas, a Unidade 5 é destinada à genética e conta com 84 páginas.

O capítulo 30 (A Primeira Lei de Mendel e noções de probabilidade) é o primeiro da Unidade 5 e introduz os primeiros conceitos em genética abordando os experimentos realizados por Mendel com ervilhas-de-cheiro. Através deste exemplo, o livro E define *dominante* como “o caráter manifesto na geração F1” e *recessivo* aquele que “permanece escondido em F1, só reaparecendo na geração F2 e com menor frequência”, sendo a geração F1 resultado do cruzamento de duas linhagens puras e F2 resultado da autofecundação de F1. Essas definições são, na verdade, as observações de Mendel e por si só não satisfazem enquanto conceitos.

Depois de apresentada ao leitor a Primeira Lei de Mendel, o livro a relaciona com a meiose (abordada anteriormente no livro, na Unidade 2). Nesse contexto, o livro E afirma que *loco gênico* é “a posição que cada gene ocupa no cromossomo” e seguem dizendo que “os genes que ocupam o mesmo loco em cromossomos homólogos podem se apresentar sob duas ou mais formas distintas, chamadas *alelos*”. Dois novos conceitos aparecem definidos em um pequeno parágrafo, ilustrado de forma esquemática ao lado. Apesar de corretas, as definições de loco gênico e alelo vêm antes da própria definição de gene (que só ocorre no parágrafo seguinte).

Em seguida, o conceito de alelo volta a aparecer em meio às próximas definições: “Quando, nas células de um indivíduo, os alelos que compõem um par não são idênticos entre si, o indivíduo é denominado *heterozigótico*. [...] Quando os alelos são idênticos, o indivíduo é denominado *homozigótico*”. Os termos estão corretos e uma ilustração acompanha o parágrafo, traduzindo visualmente o enunciado de forma clara.

Num subitem que os autores chamam de “Alguns conceitos fundamentais em genética”, o leitor se familiariza com outras duas novas palavras: *fenótipo* e *genótipo*. Até aqui, o livro E limita-se à primeira lei de Mendel e relações entre a lei e a meiose; a partir daqui, mergulha mais profundamente na genética. *Fenótipo* designa cada uma das variedades possíveis de um mesmo caráter e *genótipo* “pode ser aplicado tanto ao conjunto total de genes como a cada par de alelos em particular”. A primeira definição, bastante ampla, está correta e no decorrer do texto os autores se preocupam em deixar clara a influência do ambiente para moldar o fenótipo. A segunda definição é exemplar, pois é sucinta e engloba duas situações comumente usadas, inclusive no livro: o genótipo do indivíduo como um todo ou de um par de alelos específicos que se está estudando.

Mas adiante, ainda no capítulo 30, os autores voltam a falar de *dominância* e *recessividade*, dessa vez por meio de conceituações mais claras, deixando de lado o exemplo das ervilhas de Mendel. O livro E diz que quando “o fenótipo determinado por um alelo se manifesta, diz-se que esse alelo é *dominante*. No caso de o alelo precisar estar em dose dupla para se manifestar, pois sozinho não se manifesta, ele é chamado de *recessivo*”. Assim, conclui que “alelo *dominante* é aquele que determina o mesmo fenótipo, tanto em homozigose como em heterozigose. Alelo *recessivo* é aquele que só se quando está em homozigose.” Tais definições são precisas e claras. Merece menção outras duas observações trazidas a esse respeito: primeiro, o livro E desmistifica a aparente supremacia do dominante, deixando claro que nem sempre ele é melhor ou mais abundante na população quando comparado ao recessivo. E segundo, o livro traz um exemplo em termos moleculares para explicar fenótipo dominante e recessivo (p. 439).

O livro E não tem glossário, apresentando apenas um pequeno índice remissivo no final.

4.6 LIVRO F

Com 839 páginas, é o maior dentre os livros analisados, contém glossário e índice remissivo. A Unidade VII (p. 581 a 668) dedica quase 90 páginas ao ensino de genética e tem, como primeiro capítulo (Capítulo 22 – Fundamentos da genética), uma introdução geral ao assunto, com os principais termos sendo apresentados ao leitor. Nesse sentido, assemelha-se ao livro A (da mesma editora) e aborda a Primeira Lei de Mendel mais adiante.

Diferente dos outros livros, o livro F começa definindo *fenótipo* e *genótipo*: “... fenótipo [...] refere-se às características observáveis de um ser vivo; genótipo [...] designa seu conjunto de genes.” Ambos os termos tem suas etimologias abordadas, o que mostra ao leitor “de onde veio” a palavra, e não simplesmente como mais um novo verbete a ser decorado. A definição de fenótipo como mais ampla, sendo tudo aquilo que é observável, corrobora com Snustad. Quanto ao genótipo, apesar de correta a definição é limitada (que conjunto de genes? Os autores pecam ao não explicitarem que tal conceito se aplica em nível de gene, célula e indivíduo). No glossário, o sentido atribuído às duas palavras concorda com aquele expresso no corpo do texto.

A seguir, o livro F diz que *alelos* são “diferentes versões de um mesmo gene”. A mesma definição é encontrada no glossário. Não é citado que alelos ocupam o mesmo loco gênico em cromossomos homólogos – aliás, o termo *loco gênico* é ignorado ao longo de todo o texto, não aparecendo nenhuma vez, nem citado nem definido. Cabe ressaltar que tal termo se faz ausente também no glossário e no índice remissivo.

Segundo o livro F, se usa *homozigótico* para “designar indivíduos com dois alelos iguais de um gene”, enquanto *heterozigótico* é usado “se [o indivíduo] apresenta dois alelos diferentes do gene”. Apesar de ignorar a noção de loco gênico, a definição é precisa, mas carece de ilustrações que favoreçam o entendimento por parte do aluno-leitor.

Por fim, os conceitos de *dominante* e *recessivo* aparecem, creditados a Mendel: “... dominante para designar o alelo que se expressa nos indivíduos heterozigóticos, e [...] recessivo para o alelo que não se expressa neles”. Apesar de corretos, a inferência de que o recessivo precisa estar em homozigose para se manifestar deve partir do leitor, com base na afirmação acima. Porém, ao se consultar o glossário, ambos os termos são complementados:

lá, a definição presente se baseia justamente nas condições necessárias de cada fenótipo se manifestar (o que carece no corpo do texto).

O livro F é bastante ilustrado com fotografias e desenhos esquemáticos, que ajudam na compreensão dos termos, além de deixar o visual mais agradável.

5 Resultados e análise dos questionários

Foi realizada a coleta de 60 questionários respondidos pelos alunos de 2º e 3º anos de Ensino Médio de uma escola de Porto Alegre. Os alunos, depois de comunicados a respeito da pesquisa, optaram por participar ou não e tiveram autorização de seus responsáveis por meio de um TCLE (Anexo B).

Os questionários (Anexo A) constam de três questões e abaixo seguem os resultados de cada uma delas.

A primeira questão trazia três afirmações, as quais deveriam ser julgadas verdadeiras ou falsas pelos alunos. No caso de serem falsas, pedia-se que o aluno justificasse sua escolha.

A primeira afirmação – “Recessivo é o gene inibido pela ação de outro gene, denominado “dominante” – era falsa, pois não se trata de genes, e sim de alelos, e o dominante não inibe a ação do recessivo. Dos 60 alunos, apenas quatro acertaram a questão, sendo que um deles não justificou sua escolha, outro acertou a justificativa, citando epistasia (em suas palavras, “isso seria epistasia, ele apenas se manifesta em homozigose”), e outro aluno acertou parcialmente, justificando que “não é pela ação de outro gene, e sim do mesmo gene pela característica dominante”. O último aluno justificou de forma errada (“pode ser epistasia, logo não precisa haver dominância ou recessividade”). Entre os que responderam de forma errada e apresentaram justificativa (sete alunos), quatro justificaram sua resposta no sentido de que o recessivo deve estar em dose dupla para se manifestar. Três alunos citaram que o “gene dominante domina a ação, inibindo o recessivo”.

Para a maioria dos alunos (56 alunos), a afirmação pareceu correta. Isso demonstra como é arraigada a idéia de inibição do recessivo por parte do alelo dominante.

A segunda afirmação – “Um organismo é dito homozigoto quando apresenta genes idênticos para uma dada característica” – também errada, foi elaborada para que os alunos corrigissem “genes” por “alelos”. No entanto, poucos foram aqueles que notaram algo errado e declararam como falsa a afirmação. Dos 60 alunos, apenas quatro alunos acertaram – cabe ressaltar que não foram os mesmo da questão anterior. Um deles justificou corretamente: “errado, pois é um alelo em dupla frequência que determina a homozigose”. Outro aluno acertou

parcialmente, dizendo: “homozigoto é quando tem genes idênticos no mesmo loco”. Os outros dois não justificaram.

Para a grande maioria dos alunos, a frase pareceu correta e eles não parecem fazer distinção entre gene e alelo.

Por fim, concluindo a questão 1, a última afirmação – “Alelo é uma das formas diferentes de um gene que pode existir em um dado loco” – era verdadeira e foi a mais acertada das três. Dos 60 alunos, 22 julgaram como correta a questão, porém a maioria não justificou. Apenas dois alunos complementaram sua escolha. Um deles disse que “pode ser recessivo ou dominante no par e se apresentam no mesmo loco” e inclusive ilustrou. O outro, também correto, citou a existência de polialelia, informando que podem existir vários alelos para o mesmo loco, embora tenha apenas um por cromossomo homólogo. Dois alunos deixaram em branco a questão e o restante errou, sendo que quatro justificaram, fazendo confusão entre alelo e gene, além de citar informações irrelevantes para o contexto.

A questão 2 está transcrita abaixo:

“João e Maria estão pensando em ter um filho. João tem um irmão albino e uma irmã com pigmentação normal. Seus pais não são albinos, porém João tem uma tia paterna albina e um primo, por parte de mãe, com a mesma característica. Já Maria tem um avô materno e uma irmã albinos e um irmão com pigmentação normal. Os pais de Maria também têm pigmentação normal. Que informações permitem avaliar com maior precisão as chances de João e Maria terem um filho albino?

- (A) O fenótipo da irmã de João e o genótipo do avô de Maria.
- (B) O genótipo da tia de João e o genótipo do irmão de Maria.
- (C) O fenótipo do irmão de João e o fenótipo da irmã de Maria.
- (D) O genótipo do primo de João e o fenótipo da mãe de Maria.
- (E) O fenótipo do pai de João e o genótipo do pai de Maria.”

O gabarito da questão (letra C) foi escolhido, entre as cinco opções oferecidas, pela franca maioria (25 alunos). Alguns questionários apresentavam, inclusive, rascunhos da resolução do problema ao lado da questão. Parece que os alunos têm mais habilidade de encontrar a resposta certa dentre algumas alternativas do que construir com suas próprias palavras um conceito, como verificado na questão 3 a seguir.

Findadas as perguntas fechadas, a questão 3 pedia que os alunos definissem quatro pares de conceitos: (1) dominante e recessivo; (2) homozigoto e heterozigoto; (3) alelo e loco gênico; e (4) genótipo e fenótipo. Para fins de análise, as respostas foram divididas em corretas (quando apresentavam os conceitos bem definidos e de acordo com a literatura especializada), parcialmente corretas (quando incompletas ou apenas um termo da dupla correto) e incorretas (quando não estando de acordo com a literatura).

O par (1) foi definido de alguma forma por todos os alunos, ou seja, nenhum dos participantes deixou a questão em branco. Dos 60 alunos, 14 conceituaram de forma correta, oito de forma parcialmente correta e 38 de forma incorreta.

Os alunos que definiram os termos corretamente citaram as condições necessárias para a expressão de cada fenótipo (p. ex. “para o dominante, basta um alelo estar presente; o recessivo precisa dos dois para se manifestar” ou “o recessivo só se manifesta em homozigose, o dominante pode se manifestar em heterozigose”). Ainda, muitos representaram letras maiúsculas e minúsculas para ilustrar suas respostas.

Definições parcialmente corretas apresentaram, em geral, conceitos incompletos, onde o aluno não menciona as condições necessárias para que o dominante e o recessivo se expressem.

O erro mais freqüente foi descrever o recessivo como sendo inibido pelo dominante – lembrando que tal afirmação aparecia na questão 1, cuja maioria dos alunos julgou certa quando na verdade estava errada. Outro erro que apareceu, em menor escala, foi classificar o dominante como “mais forte” e “mais freqüente”, sendo o recessivo “mais fraco” e “mais raro”.

A idéia de dominação e inibição aparece no discurso da maioria dos alunos, o que era esperado pela quantidade de erros na questão 1.

O par (2) foi definido por todos, à exceção de um aluno. Das 59 respostas obtidas, 11 foram consideradas como corretas, 34 como parcialmente corretas e 14 como incorretas.

De forma unânime, a definição de homozigoto como sendo o portador de alelos idênticos e heterozigoto como o portador de alelos diferentes para um dado loco gênico apareceu nas respostas dos 11 alunos considerados corretos.

Aqueles que acertaram parcialmente a definição (a maioria dos alunos) confundiram alelo com gene, erro comum inclusive nos livros didáticos. Isso se observou em respostas

semelhantes à correta, com troca do termo *alelo* por *gene*. O mesmo erro aparecia na segunda afirmação questão 1, julgada correta pela franca maioria. Nesses casos, é possível inferir que o aluno entende os conceitos homocigoto e heterocigoto, mas erra ao se expressar quando os define por escrito. Poucos alunos conceituaram de forma incorreta e um erro freqüente foi relacionar ambos os termos com diferentes tipos de zigotos (“homocigoto é um zigoto com metade dos cromossomos, só os da mãe; heterocigoto é com os cromossomos maternos e paternos”). Alguns alunos sugeriram que homocigotos apresentam todos seus genes iguais e os heterocigotos não.

De modo geral, o erro parcial foi o mais abundante e isso era esperado, uma vez que o mesmo erro aparece nos livros didáticos e muita confusão é feita entre genes e alelos.

O par (3) não foi conceituado por 28 alunos, que deixaram em branco. Os outros 32 responderam, sendo que alguns acertaram apenas um dos termos, outros acertaram os dois e ainda houve os que não acertaram nenhum.

O termo *alelo* foi definido corretamente por apenas sete alunos, que de maneira geral o descreveram como “uma das formas diferentes de um gene”. Os demais alunos apresentaram definições confusas, deixando claro o quanto esse conceito não está nítido para a maioria (“um par de alelos forma um gene” ou “alelo é um conjunto de dois genes”). É curioso que muitos alunos souberam responder corretamente a afirmação 3 da questão 1, que define com clareza o que é um alelo. Porém, essa facilidade não se observou na hora desses mesmos alunos definirem, com suas próprias palavras, o conceito visto na página anterior.

O termo *loco gênico* foi corretamente conceituado por oito alunos como a posição do cromossomo ocupada por um gene. Os demais alunos erraram o conceito definindo-o como “um conjunto de genes”, “interações entre alelos” ou “parte que replica de um gene”. O fato de tantos alunos absterem-se de responder (28) e tantos outros cometerem erros significativos (24) era esperado, pois o livro-texto utilizado na escola (livro F) não conceitua *loco gênico*. Se o professor monta seu material de aula com base no livro e este omite um conceito importante, a menos que o professor complemente seu material de pesquisa é esperado que este termo não seja trabalhado.

Última dupla a ser conceituada, o par (4) não foi definido por nove alunos; os demais se dividiram entre aqueles que definiram ambos de forma errada (14 alunos) e os que acertaram pelo menos um dos termos.

O termo *genótipo* foi corretamente conceituado por 37 alunos, sendo a maior taxa de acertos do questionário. De maneira geral, foi descrito como “a composição gênica de um indivíduo” e “conjunto de informações genéticas”. Porém, o mesmo não ocorre com *fenótipo*, denotando maior dificuldade dos alunos em entender tal conceito, que é mais complexo. Apenas 14 alunos conceituaram de forma correta e completa, destacando o papel do ambiente na constituição fenotípica. O erro mais comum cometido pelos alunos ao definir fenótipo foi classificá-lo como conjunto de caracteres “visíveis a olho nu”, “externos” ou “aquilo que se vê”.

6 Reflexões acerca dos termos

Foram analisados oito termos básicos para o estudo da genética clássica em seis Livros Didáticos de Ensino Médio e 60 questionários respondidos por alunos dessa mesma etapa. Os termos tendem a figurar em duplas nos livros – o conceito de um é sempre atrelado ao conceito do outro. Os questionários foram montados da mesma forma, agregando-os aos pares.

O par (1), *dominante e recessivo*, tem como abordagem os estudos de Mendel nos livros B, C e E – nos demais, o famoso experimento com ervilhas apenas ilustra, posteriormente, os conceitos anteriormente explicados. Aprender por meio de modelos pode favorecer o entendimento do aluno, mas corre-se o risco de fixar o exemplo, e não o conceito, impossibilitando que o sujeito extrapole o sentido contido no objeto (LOPES, 2000).

O par (1) aparece corretamente definido nos livros A, E e F, e também no glossário do livro B. Nestes, há preocupação por parte dos autores em defini-los quanto às condições necessárias para que o caráter se expresse. Dentre os alunos que responderam ao questionário, aqueles que elaboraram respostas corretas seguiram a mesma linha de raciocínio.

O livro D comete o erro mais repetido pelos alunos nos questionários ao definir como dominante aquele que se expressa por ter mais força. Apenas um livro comete esse erro, mas entre os alunos a grande maioria revela em suas respostas que esse senso-comum é presente e arraigado. Isso pode ser creditado ao fato de que, mesmo quando o conceito está correto (livros A, B e F), faltam explicações que elucidem as razões da dominância e da recessividade. Em contraponto, os livros C e E trazem explicações e exemplos moleculares e tentam desmistificar essa idéia primitiva de dominância. Outra razão por trás dessa recorrente insistência é o próprio termo, cunhado por Mendel há mais de um século, que leva o leigo a crer que o dominante subjuga o recessivo, sendo mais forte portanto.

O par (2), *homozigoto e heterozigoto*, é também definido por meio de exemplos (em geral, as ervilhas) nos livros A e B. Quanto à nomenclatura, os livros C e D fazem confusão, ora chamando *-zigoto*, ora *-zigótico*. Os demais livros relacionam ambos os termos aos tipos de alelos presentes num determinado loco gênico, da mesma forma que foi conceituada pelos alunos cujas respostas foram consideradas corretas. Nos questionários, o erro parcial

mais abundante é também presente nos livros B e D, onde a relação é feita com *genes* ao invés de *alelos*.

O livro B é o único que relaciona o par (2) com ciclo e divisão celular, sendo tal associação ausente nos questionários. Em geral, o conteúdo de ciclo e divisão celular é trabalhado de forma independente da genética, numa fração dedicada à citologia nos livros e na 1ª série do ensino médio; se tem por hábito estudar genética posteriormente. Os conteúdos em biologia são interconectados e a ciência é uma só; para fins didáticos, os assuntos são distribuídos em áreas, que nem sempre fazem as conexões necessárias para manter a unidade do todo. A fragmentação gerada na matéria para acomodar as disciplinas no modelo vigente de ensino desfavorece, por vezes, a compreensão de processos que, na vida real, são contínuos (LOPES, 2000).

O par (3), *alelo e loco gênico*, nem sempre aparece associado – o livro F, por exemplo, conceitua corretamente “alelo” sem sequer citar a existência de locos gênicos. Contudo, a relação é feita nos demais livros, beirando a tautologia – alelo é definido como ocupante do loco, que é definido como local ocupado pelo alelo.

Em geral, a definição de loco gênico é uniforme, tanto nos livros como nos questionários. No entanto, os livros B e D trazem traduções grosseiras para alelo, chamando-os de “gene alelo”. Ainda que corretamente definidos como formas alternativas de um gene, há confusão no emprego adequado do termo, freqüentemente usado como sinônimo de “gene”. Nas respostas dos alunos, fica clara a indistinção entre gene e alelo (questões 1 e 3) e isso reflete a dificuldade de organizar tais conceitos hierarquicamente.

Num estudo semelhante, Lima, Pinton e Chaves (2005) verificaram essa tendência ao propor que os alunos organizassem, de forma hierárquica, os termos DNA, gene e cromossomo, estabelecendo relações entre eles. A dificuldade dos alunos na hora de se expressar denota que não houve construção de conexões de verdade entre os conceitos, eles foram (quando muito) decorados mecanicamente e são freqüentemente utilizados como equivalentes.

Por fim, o par (4), *genótipo e fenótipo*, apresentou a maior uniformidade entre os livros e as respostas dadas pelos alunos. Os livros A e F se referem ao genótipo como conjunto gênico, de forma ampla, enquanto os livros B e C fazem referência em sentido restrito, de célula ou gene. Os livros D e E trazem ambas as concepções, de modo mais completo. De maneira geral, as respostas nos questionários oscilaram entre essas variações.

Apenas os livros A, C e E citam o efeito ambiental como influente no processo de constituição fenotípica. O fenótipo, embora tenda a ser usado num sentido mais restrito, foi definido como conjunto de caracteres pela maioria dos livros (A, B, C e D) e metade deles incluiu em sua definição aspectos não genéticos (B, D e F). Nos questionários, o erro mais frequente cometido pelos alunos foi restringir o fenótipo a caracteres visíveis e externos, ignorando os caracteres “não-visíveis”. Nenhum dos livros faz essa colocação, contudo, todos tendem a se valer de características morfológicas para exemplificar o fenótipo.

O uso de ilustrações, muitas vezes, serve para sintetizar um conceito ou ainda, numa mesma imagem, estabelecer conexões entre dois ou mais conteúdos (MARTINS, 2005). No livro didático, atrelado ao fenótipo, costumam estar vinculadas ilustrações (como fotos, esquemas e desenhos) que visam facilitar a apropriação do conhecimento por parte do aluno (citação). O foco na imagem favorece a idéia de que fenótipo é visual, é “ser visível” e “externo” ao indivíduo.

7 Considerações finais

O livro didático é uma ferramenta fundamental no processo de construção da cidadania e alfabetização científica, uma vez que é junto dele que o professor planeja e prepara sua aula (NÚÑEZ et al., 2003). Embora seu propósito seja apoiar a prática docente, o livro às vezes acaba por desempenhar uma função que não lhe é genuína, a de conduzir, quase que autonomamente, o viés das aulas (CASAGRANDE, 2006). Em virtude deste “desvio de função”, o livro passa a desempenhar o papel de fonte suprema do saber tanto para o aluno quanto para o professor.

Os livros não são perfeitos. São limitados pelo espaço, que é finito, e invariavelmente apresentam generalizações como forma de contornar o volume real de informações. Há ainda as simplificações, necessárias para atingir o público a que se propõe. Mas o espaço enxuto e as adequações para faixa etária não justificam certas incorreções encontradas nos livros indicados para o Ensino Médio. Embora a qualidade dos livros de Ensino Médio tenha melhorado desde que o MEC passou a avaliá-los, como critério de seleção para o PNLEM, ainda se fazem necessárias análises mais críticas e direcionadas. Talvez, com uma equipe técnica mais completa, os livros fossem mais rigorosamente selecionados. Muito ainda precisa ser feito e trabalhos que visem a análise dos livros didáticos, de forma mais minuciosa, se fazem necessários nesse novo cenário onde o livro ganha espaço no Ensino Médio. Com base nos resultados dessas análises, espera-se que o professor possa tomar uma posição mais crítica em relação ao livro, escolhendo os conteúdos de forma mais criteriosa e acertada.

A formação de professores também tem seu papel na alfabetização científica (AULER, 2003) e seria irresponsável cobrar apenas que os livros se atualizem – lembrando que o livro é apenas uma ferramenta e um professor bem preparado é capaz de selecionar adequadamente seu material de apoio, de maneira a favorecer o pensamento crítico de seus alunos (MORTIMER, 1996).

Em se tratando de genética, a aquisição efetiva de um vocabulário básico depende muito mais do que decorar novos conceitos – implica em ser capaz de relacioná-los entre si e com os demais conteúdos de ciências. É o primeiro passo para ser capaz de reflexões mais profundas sobre temas mais complexo dentro das ciências (LEITE; ALMEIDA, 2001).

O volume de novas informações disponível a cada dia cresce de forma exponencial, em especial no âmbito das ciências. Com isso, acompanhar o desenvolvimento científico-tecnológico é imprescindível para aqueles que desejam estar bem informados e cientes das conseqüências de tais transformações. Um sujeito alfabetizado cientificamente é capaz de entender a linguagem da natureza e compreender o universo a sua volta (CHASSOT, 2003).

A Genética é parte dessa ciência em transformação, sendo pivô de polêmicas e debates. A tomada de posição pelo sujeito depende da familiaridade entre ele e a ciência – quanto mais forte for essa interface, mais habilitado ele está.

No discurso dos alunos se vê, com freqüência, o lugar-comum empregado no lugar do saber científico – ao definir termos básicos, o aluno não busca construir a resposta com apoio no saber formal, a tendência é utilizar recursos anteriormente internalizados para conceituar o que é proposto. Esse saber prévio perdura, sinalizando que a escola, ao trabalhar formalmente tais conceitos, não se assegura de transformá-los no saber científico.

O aluno deve ser um agente ativo do seu próprio aprendizado; o professor precisa estar preparado para conduzir nesse sentido seus alunos, e munido de instrumental adequado que facilite e catalise esse processo (CORAZZA-NUNES et al., 2006). Estudos que ajudem a diagnosticar e remediar as falhas de ensino no âmbito das ciências são fundamentais, seja para avaliar a qualidade do material de apoio, da formação docente ou da alfabetização científica no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AULER, Décio. Alfabetização científico-tecnológica: um novo “paradigma”? **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 69-83, 2003.

BECKER, Fernando. **Educação e construção do conhecimento**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

BECKER, Fernando. **A origem do conhecimento e a aprendizagem escolar**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

BRANDÃO, Gilberto Oliveira; FERREIRA, Louise Brandes Moura. O ensino de Genética no nível médio: a importância da contextualização histórica dos experimentos de Mendel para o raciocínio sobre os mecanismos da hereditariedade. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 4, p. 43-63, 2009.

CASAGRANDE, Grasiela de Luca. **A genética humana no livro didático**. 2006. 121f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação Em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CHASSOT, Attico. Alfabetização científica: uma possibilidade para inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 22, p.89-100, 2003.

CORAZZA-NUNES, Maria Júlia et al. Implicações da mediação docente nos processos de ensino e aprendizagem de biologia no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias**, v. 5, n. 3, p. 522-533, 2006.

DELLA JUSTINA, Lourdes Aparecida et al. A herança genotípica proposta por Wilhelm Ludwig Johannsen. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 55-71, 2010.

FRANCO, M. I. P. B. O livro didático e o Estado. **ANDE**, ano 1, n. 5, p. 19-24, 1992. apud XAVIER, Márcia Cristina Fernandes; FREIRE, Alexandre de Sá; MORAES, Milton Ozório. A nova (moderna) biologia e a genética nos livros didáticos de biologia no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 3, p. 275-289, 2006.

FREIRE, Paulo; GUIMARÃES, Sérgio. **Sobre educação: diálogos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1988.

GIORDAN, André; VECCHI, Gerard de. **As origens do saber:** das concepções dos aprendentes aos saberes científicos. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

LEITE, Maria Salete S. C. Pinheiro; ALMEIDA, Maria José B. Marques de. Compreensão de Termos Científicos no Discurso da Ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 458-470, 2001.

LIMA, Alexandra de Castro; PINTON, Márcia Regina Gomes Mayrink; CHAVES, Andréa Carla Leite. O entendimento e a imagem de três conceitos: DNA, gene e cromossomo no Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. **Anais do VI ENPEC**. Disponível em: <<http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/viempec/CR2/p464.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2010.

LOPES, Alice Casemiro. Organização do conhecimento escolar: analisando a disciplinaridade e a integração. In: CANDAU, Vera Maria. **Linguagens, espaços e tempos no ensinar e aprender**. Rio de Janeiro: DP&A Editora, 2000.

MARTINS, Isabel; GOUVÊA, Guaracira; PICCININI, Cláudia. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 57, n. 4, p. 38-40, 2005.

MELO, José Romário de; CARMO, Edinaldo Medeiros. Investigações sobre o ensino de genética e biologia molecular no Ensino Médio brasileiro: reflexões sobre as publicações científicas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, p. 593-611, 2009.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

NÚÑEZ, Isauro Beltran, et al. A seleção dos livros didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de Ciências. **Revista Iberoamericana de Educación**, p. 1-12, 2003. Disponível em: <<http://www.rieoei.org/deloslectores/427Beltran.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2010.

PAIVA, Ana Luiza Bittencourt; MARTINS, Carmen Maria de Cairo. Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 7, n. 3, p. 34-54, 2006.

PEDRANCINI, Vanessa Daiana et al. 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.

SCHEID, Neusa Maria John; FERRARI, Nadir. A história da ciência como aliada no ensino de genética. **Genética Na Escola**, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p. 17-18, 2006.

SILVA, P. F. Percepções de alunos do Ensino Médio frente e algumas questões de biologia que suscitam dilemas éticos. In: **VII Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia**. São Paulo, 2000. São Paulo: USP, 2000.

SORDI, Jaqueline Orgler et al. O Léxico da Biologia Molecular: uma pesquisa terminográfica. In: XXI Salão de Iniciação Científica da UFRGS, 2009, Porto Alegre. **Livro de Resumos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional**. Petrópolis: Vozes, 2002.

VASCONCELOS, SOUTO. O livro didático de Ciências do Ensino Fundamental: propostas de critérios para análise do conteúdo zoológico. **Ciência & Educação**, v.9, n.1, p.93-104, 2003.

VILLAS-BOAS, Adlane. Conceitos errôneos de Genética em livros didáticos do ensino médio. **Genética Na Escola**, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p. 9-11, 2006.

XAVIER, Márcia Cristina Fernandes; FREIRE, Alexandre de Sá; MORAES, Milton Ozório. A nova (moderna) biologia e a genética nos livros didáticos de biologia no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 3, p. 275-289, 2006.

ANEXO A – INSTRUMENTO DE PESQUISA

Questão 1. Marque para cada uma das seguintes afirmações V (verdadeiro) ou F (falso). Se possível, justifique sua escolha:

- () Recessivo é o gene inibido pela ação de outro gene, denominado dominante.
- () Um organismo é dito homozigoto quando apresenta genes idênticos para uma dada característica.
- () Alelo é uma das formas diferentes de um gene que pode existir em um dado loco.

Questão 2. João e Maria estão pensando em ter um filho. João tem um irmão albino e uma irmã com pigmentação normal. Seus pais não são albinos, porém João tem uma tia paterna albina e um primo, por parte de mãe, com a mesma característica. Já Maria tem um avô materno e uma irmã albinos e um irmão com pigmentação normal. Os pais de Maria também têm pigmentação normal. Que informações permitem avaliar com maior precisão as chances de João e Maria terem um filho albino?

- (A) O fenótipo da irmã de João e o genótipo do avô de Maria.
- (B) O genótipo da tia de João e o genótipo do irmão de Maria.
- (C) O fenótipo do irmão de João e o fenótipo da irmã de Maria.
- (D) O genótipo do primo de João e o fenótipo da mãe de Maria.
- (E) O fenótipo do pai de João e o genótipo do pai de Maria.

Questão 3. Abaixo, estão listadas duplas de conceitos relacionados entre si em genética básica. Explique (defina ou conceitue) cada dupla com suas próprias palavras:

- Dominante e Recessivo

- Homozigoto e Heterozigoto

- Alelo e loco gênico

- Genótipo e Fenótipo

ANEXO B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar, de forma voluntária, de uma pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Após ser informado das condições a seguir, você poderá escolher entre participar ou não do estudo.

Em caso **afirmativo**, assine juntamente com seu responsável ao final deste documento, que está em duas vias: uma delas é sua e a outra pertence à pesquisadora responsável. Em caso **negativo**, você não será penalizado de nenhuma maneira.

Informações sobre a Pesquisa

Título do projeto: Conceitos básicos em Genética: do livro didático ao estudante.

Pesquisadoras responsáveis: Márcia Cristina Pinheiro e Marion Schiengold

Telefone para contato: (51) 3308-6739

– A presente pesquisa tem por objetivo avaliar os significados atribuídos por estudantes e professores a diferentes termos de genética. Com isso, desejamos comparar as definições trazidas nos livros didáticos com aquelas elaboradas pelo corpo discente.

– Esses dados são muito importantes: com eles, pretendemos analisar o quanto o ensino de genética na escola atinge os objetivos esperados.

– Lembre-se que esse instrumento não é uma avaliação escolar, tampouco “vale nota”. Suas respostas serão analisadas juntamente com as de seus colegas a fim de auxiliar na nossa pesquisa. De forma alguma isso trará prejuízo aos entrevistados e todo o material será de autoria anônima, isto é, você não será identificado.

– As respostas, depois de analisadas, servirão como instrumento para a construção de um Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Biológicas de autoria da pesquisadora responsável.

Pesq. Resp.: Márcia Cristina Pinheiro

Pesq. Resp.: Marion Schiengold

Consentimento de participação como sujeito

Eu, _____, RG _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo “Conceitos básicos em Genética: do livro didático ao estudante” como sujeito. Fui devidamente informado e esclarecido pela pesquisadora responsável sobre a pesquisa, os procedimentos envolvidos e sua finalidade. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isso leva a qualquer penalidade.

Porto Alegre, ____ de _____ de 2010

Nome do aluno: _____

Assinatura do aluno: _____

Nome do responsável: _____

Assinatura do responsável: _____