

Generalizações que distanciam os conhecimentos dos livros didáticos das referências em Genética



Fernanda Franzolin¹, Luiz Caldeira Brant de Tolentino-Neto², Nelio Bizzo³

¹ Centro de Ciências Naturais e Humanas, Universidade Federal do ABC, São Paulo

² Centro de Educação, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul

³ Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo

Autor para correspondência - fernanda.franzolin@ufabc.edu.br

Palavras-chave: materiais didáticos, Estados Unidos, Brasil, expressão gênica, meiose, leis de Mendel

Como os conhecimentos de Genética presentes nos livros didáticos se aproximam ou se distanciam do conhecimento de referência utilizado na formação dos professores? Uma pesquisa em livros didáticos brasileiros e estadunidenses traz resultados referentes a um tipo de distanciamento frequentemente encontrado: as generalizações, que consistem em atribuir a um conhecimento particular um caráter geral. Ambos os materiais apresentam generalizações que os distanciam do conhecimento veiculado nos livros de referência utilizados na graduação, sendo que nos livros brasileiros há maior incidência de generalizações quando tratam da meiose e, nos EUA, a maior frequência está no conteúdo expressão gênica. Durante a exposição dos resultados deste trabalho são apresentados alguns exemplos de como alguns livros evitam essas generalizações, bem como, as possibilidades de encurtar tais distanciamentos seja com mudanças na formação inicial, seja com o trabalho em sala de aula.



INTRODUÇÃO

Selecionar e adequar o conhecimento a ser ensinado estão entre as tarefas mais importantes do professor e é fundamental que sejam abordadas nos cursos de formação inicial de professores. Geralmente, nos cursos de licenciatura, os conceitos científicos são abordados com grande grau de aprofundamento, mas não é incomum estudantes concluintes da graduação afirmarem que sabem muito sobre o conteúdo específico de sua área, mas temem ir para a sala de aula por não saber como transmiti-los. Cursos que possuem uma separação entre a formação científica e a formação pedagógica do professor são questionados pela literatura e contrariam as normas legais que regem a matéria, em nível nacional, pelo menos desde 2002 (BRASIL, 2002)

Deve-se salientar que o conhecimento gerado pela ciência e aprendido pelo futuro professor em sua graduação não consiste no mesmo conhecimento a ser ensinado na educação básica. Primeiramente, é preciso considerar que o saber escolar não é composto apenas pelo saber científico, mas também

pelo saber cotidiano (LOPES, 1999), o que não elimina a importância de aproximar o aluno do Ensino Médio do conhecimento produzido pela Ciência. Apesar de não ser papel da escola necessariamente substituir as concepções dos alunos por ideias científicas, apresentando-as como superiores a outros saberes, é preciso permitir que os estudantes desenvolvam uma visão de mundo compatível com a ciência (COBERN, 1996), ou seja, fazê-los ser capaz de compreender o conhecimento produzido e que, em certos contextos, pode ajudar em nossa vida cotidiana. Isso seria importante não por se considerar esse conhecimento como melhor do que os outros, ou uma verdade inquestionável, mas por se considerar que esse conhecimento é *confiável*, pois foi gerado no *consenso* de uma comunidade científica, tendo sido avaliado por diversos pesquisadores de uma determinada área de conhecimento e por eles aceito (ZIMAN, 1985). Pode-se também considerar que os indivíduos desenvolvem imagens científicas do mundo das quais obtêm diversas deduções. Essas opiniões sobre a realidade científica servem de base para muitas ações sociais, o que também justifica a importância do conhecimento científico ser ensinado no ambiente escolar (ZIMAN, 1985).

Porém, não é possível ensinar esse saber científico nas escolas utilizando a mesma linguagem com a qual os cientistas se comunicam. Chevallard (1991), ao trazer para a Didática da Matemática o conceito de transposição didática, criado por Verret em 1975, serve hoje de referência também para pesquisadores de outras áreas. Este autor argumenta que o saber gerado pela ciência, o saber erudito (ASTOLFI, 2000), não é o mesmo que é ensinado para os alunos. A transposição didática seria a transformação do objeto de saber em objeto de ensino.

Os cursos de graduação utilizam tanto artigos científicos, os quais são produtos diretos da produção de conhecimento científico, quanto livros-texto, que já passaram por um certo grau de transposição didática, mantendo grande aproximação com o saber produzido na academia. Todavia, a linguagem dessas fontes não foi elaborada para alunos de Ensino Fundamental ou Ensino Médio. É evidente que a transposição didática precisa

ser adequada para cada nível, para que, como afirma Chevallard, possa se tornar compreensível para o estudante. Aprender a realizar transformações nesse estágio do saber, transformando-o em um saber apropriado ao aluno, torna-se então um desafio para os futuros professores.

Se, por um lado, é importante o licenciando estar preparado para realizar a transposição didática, outra necessidade é que ele também seja capaz de fazer o que Chevallard denomina como vigilância epistemológica, que consiste numa espécie de verificação da pertinência dos resultados do processo. Para este autor, apesar de necessário, o processo de transposição didática pode causar “disfunções inadequadas”.

Em sala de aula, os professores utilizam os livros didáticos tanto para preparar aulas quanto para ministrá-las. Esses são materiais em que o processo de transposição didática pode ser evidenciado (FORQUIN, 1992) e, conseqüentemente, podem revelar disfunções inadequadas. Para identificá-las o professor precisa ter, além de atenção, domínio do conhecimento produzido pela ciência. Vários pesquisadores têm apontado elementos que merecem ser melhorados nesses materiais, inclusive na área de Genética (ex: EL HANI *et al.* 2007; ESCRIBANO; SAHELICES, 2004; GERICKE; HAGBERG, 2007).

Neste texto, relatamos parte dos resultados de uma pesquisa que investigou como os conhecimentos de Genética presentes nos livros didáticos se aproximam e se distanciam do conhecimento de referência utilizado na formação dos professores. Este estudo procurou ampliar o quadro de investigações apresentado pelas pesquisas acima citadas, propondo um novo olhar para os distanciamentos encontrados entre o livro didático e a referência. Procuraremos especificamente relatar os resultados referentes a um tipo de distanciamento frequentemente encontrado nesta investigação: as generalizações que consistem em atribuir a um conhecimento particular um caráter geral (por exemplo, quando certa característica de um grupo de organismos específico é atribuída a todos os organismos).



METODOLOGIA

Nesta pesquisa foram analisados conteúdos relacionados à área de Genética presentes em uma amostra de seis obras didáticas. Três delas eram livros brasileiros de Biologia para o Ensino Médio, aprovados pela avaliação do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2007. Pensando em verificar se os seus resultados eram específicos de nossa realidade ou poderiam ser encontrados em outro contexto, também foram investigados mais três livros didáticos utilizados por professores nos Estados Unidos.

Nessas seis obras foram analisados três grupos de conteúdos relacionados ao ensino de Genética: *Meiose*, *Leis de Mendel* e *Expressão gênica*. Os textos desses livros didáticos sobre esses conteúdos foram comparados com uma literatura de referência amplamente utilizada para a formação de licenciados em Ciências Biológicas (GRIFFITHS *et al.* 2008). Quando um distanciamento entre o conteúdo presente na principal obra de referência e no livro didático foi identificado, ou quando essa principal obra de referência não continha informações suficientes para a comparação de um determinado assunto, outras fontes, igualmente consagradas, foram consultadas (ex. ALBERTS *et al.* 2008, KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008, LODISH *et al.* 2007, WATSON *et al.* 2008). Ao longo do manuscrito, por brevidade, essas obras serão chamadas somente de *referência*.

Para a análise, refinou-se uma metodologia desenvolvida colaborativamente em pesquisas anteriores (DEL CARLO, 2007; FRANZOLIN, 2007; NARCISO-JUNIOR, 2008) que considera que o conhecimento escolar está sujeito a duas fontes de influência: O *laxismo*, que tende a distanciar o conhecimento a ser ensinado do conhecimento científico, visando torná-lo compreensível ao aluno; e 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 as influências são essenciais na constituição do conhecimento escolar e atuam concomitantemente, tendendo a deslocar o conhecimen-

to em sentidos opostos. Se, por um lado, a ausência de uma delas poderia gerar conhecimentos inacessíveis para quem aprende, por outro lado poderia gerar descompromisso com o conhecimento aceito pela comunidade científica. Sofrendo a ação dessas duas forças, o conhecimento ensinado na escola distancia-se do conhecimento de referência.

O esquema apresentado na figura 1 ilustra como esta pesquisa considera os distanciamentos presentes nos livros didáticos. Esta imagem não tem a pretensão de ser uma ferramenta gráfica na qual se plote precisamente cada afastamento, mas sim a intenção de representar esquematicamente as ideias que norteiam a metodologia utilizada.

Na imagem, cada faixa horizontal representa um nível de conhecimento, representando o saber científico em um primeiro nível e, subsequentemente, os saberes que transitam no ensino superior e nos diferentes níveis da educação básica. Um conhecimento poderia se distanciar da referência em um eixo *vertical* devido à necessidade de se adequar o conhecimento à faixa etária do aluno por meio da *pedagogização*, e também por um eixo horizontal, devido à necessidade de *didatização*, ambos importantes para a ocorrência do aprendizado. A *pedagogização* é aqui considerada como a apropriação do conhecimento para a compreensão do aluno em seu nível de ensino. Já a *didatização* leva em conta o uso de recursos variados como metáforas e analogias para facilitar a compreensão dos conhecimentos. Os pontos representam conhecimentos hipotéticos que sofreram distanciamentos horizontais e verticais em relação ao conhecimento científico.

Entretanto, consideramos que existe um limite de aceitabilidade sobre o quanto um conhecimento a ser ensinado pode ou não se afastar do conhecimento de referência. Este limite foi representado no esquema pelo contorno do cone.

O cone tem a base mais larga, pois quanto mais jovem é o aluno, maior é a necessidade de didatização (ocorrendo um maior distanciamento horizontal). O diâmetro do cone é diminuído ao se aproximar do conhecimento científico, devido à necessidade do aumento de rigor ocorrer na medida em que é aumen-

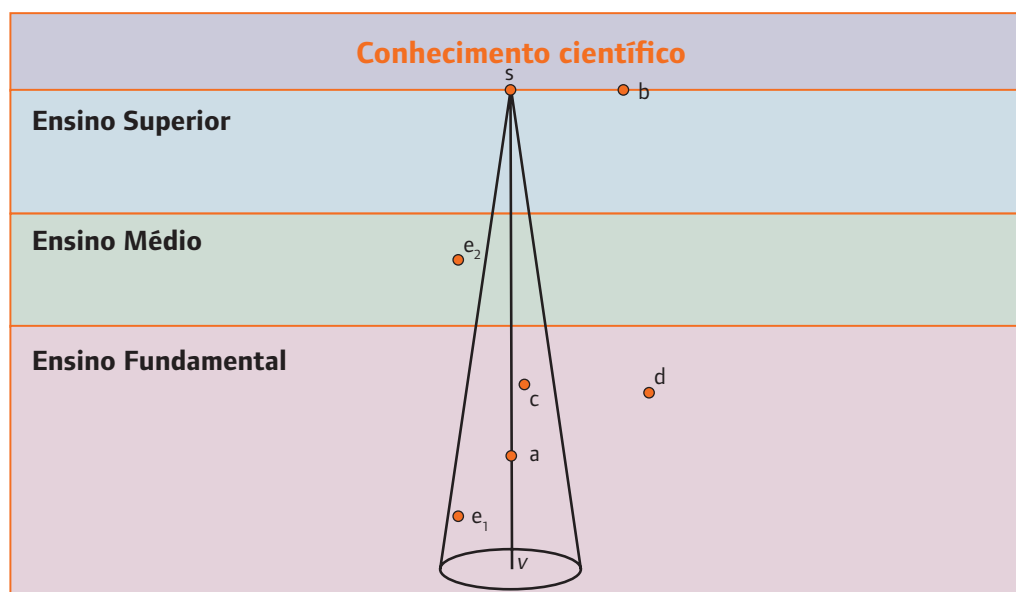


Figura 1. Representação das ideias que norteiam a metodologia de pesquisa utilizada, ilustrando os possíveis distanciamentos encontrados entre os conhecimentos ensinados nos diferentes níveis de ensino e aqueles apresentados pela referência. O ponto *a* refere-se a um conhecimento que se distancia verticalmente da ciência de referência (ponto *s*, no vértice do cone), devido ao processo de *pedagogização*. O eixo *v* refere-se ao eixo de maior rigor com relação ao conhecimento científico. O afastamento dos conhecimentos em relação a este eixo decorre da necessidade de *didatização*, portanto, caracteriza-se como distanciamento horizontal. Desta forma, o ponto *b* refere-se a um conhecimento que se distancia horizontalmente da referência. 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 *e1* 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, este mesmo conhecimento, representado também pelo ponto *e2*, é representado fora do cone, pois seu distanciamento não é mais considerado aceitável neste nível de ensino.

tado o nível de ensino. Portanto, os limites de quão aceitáveis são os distanciamentos são mais amplos na base do sistema educativo e se restringem progressivamente.

Os conhecimentos representados dentro do cone (pontos *a*, *c* e *e1*) são aqueles cujos distanciamentos em relação ao conhecimento científico (ponto *s*) de referência são considerados aceitáveis, pois são importantes ou necessários para que a aprendizagem ocorra. Já os situados fora do cone (pontos *b*, *d* e *e2*) estariam fora dos limites desta aceitabilidade, pois além de não serem necessários para a faixa etária do aluno, podem dificultar o aprendizado, na medida em que se torna muitas vezes incompatível com os novos conhecimentos transmitidos.

A metodologia aqui utilizada diferencia-se de outras utilizadas para analisar livros didáticos pois não considera como erros conceituais os distanciamentos entre o conhecimento científico e o livro didático. Reconhecemos tanto a necessidade da transposição didática, como a necessidade de se impor limites aos distanciamentos, e ainda, que os distanciamentos podem ser de diferentes naturezas. Um caso particular de distanciamento, aprofundado neste trabalho, são as generalizações, que consistem na atribuição de um caráter geral a um conhecimento particular.

Para quantificar os distanciamentos e aproximações e, conseqüentemente, as generalizações, foi preciso estabelecer *unidades de*

registro. Estas, segundo Bardin (2007), são unidades de significação, as quais se caracterizam como “segmentos da mensagem” que farão parte da “contagem frequencial”. Portanto, procurou-se analisar todos os conhecimentos referentes a cada conteúdo analisado (*Meiose, Leis de Mendel e Expressão gênica*), fracionando cada frase do texto em informações a serem comparadas com a bibliografia de referência, as quais foram consideradas como *unidades de registro*. 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 contabilizada como unidade de registro apenas uma vez no mesmo livro, independentemente de ser repetida pelo autor. Porém, para cada livro em que ela aparecia, um registro diferente era realizado.

Neste artigo, as obras analisadas serão mencionadas por códigos, sendo LDA, LDB e LDC a designação dos livros brasileiros e LDJ, LDK, LDL, a dos livros estadunidenses. Ao final, para fins de consulta e esclarecimentos, inserimos uma chave de identificação dos livros analisados.

RESULTADOS

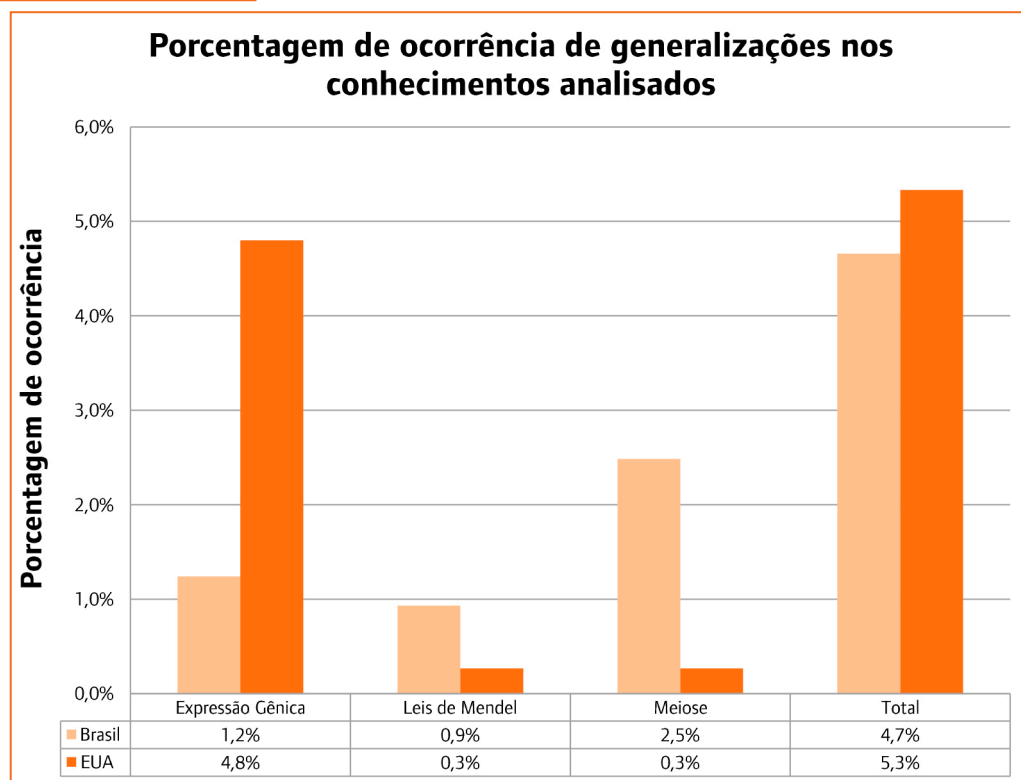
Considerando que o número de conhecimentos analisados (*unidades de registro*) nos livros do Brasil foi 322 e nos dos EUA foi de 375, e que o número de generalizações encontradas foi de 15 no primeiro contexto e 20 no segundo; ao se calcular e comparar a porcentagem de conhecimentos que se caracterizam como generalizações em cada contexto pode-se perceber que, de forma geral,

sem se ater a conteúdos específicos do ensino de Genética, a porcentagem de generalizações nos livros didáticos brasileiros é próxima à dos estadunidenses (Figura 2).

Contudo, existe uma distribuição desigual de generalizações de acordo com o conteúdo analisado, sendo que os livros brasileiros têm maior incidência de generalizações no conteúdo ‘meiose’, e nos EUA a maior frequência está no conteúdo ‘expressão gênica’.

Figura 2.

Gráfico representando a porcentagem de conhecimentos analisados que foram classificados como distanciamentos do tipo generalização nos livros didáticos brasileiros e estadunidenses (número de conhecimentos analisados: Brasil = 322, EUA = 375; número de generalizações encontradas: Brasil = 15, EUA = 20).



EXPRESSÃO GÊNICA: GENERALIZAÇÕES AO ENSINAR OS PROCESSOS DE TRANSCRIÇÃO E TRADUÇÃO

A maioria das generalizações foi encontrada durante a análise dos conhecimentos sobre expressão gênica.

Uma primeira generalização foi evidenciada em dois livros estadunidenses (LDK e LDL), que afirmam que a expressão gênica é a expressão do ácido desoxirribonucleico (DNA) para o ácido ribonucleico (RNA) e do RNA para proteína, sem deixar claro, como faz a referência, que a expressão gênica pode ter como produto final simplesmente um RNA funcional (ALBERTS *et al.* 2008, KREBS;

GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008). Apesar de os autores dos livros didáticos se referirem às diferentes moléculas de RNA existentes, acabam generalizando ao não deixar claro que nem sempre o processo de expressão gênica resultará em uma proteína. Já outros livros, como LDA, LDB, LDC e LDJ aproximam-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 será utilizado na produção de uma proteína: “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).

Todavia, a maioria das generalizações que aparece em relação a esse conteúdo ocorre quando os livros detalham mecanismos da expressão gênica sem mencionar que estão descrevendo aqueles que ocorrem apenas em eucariontes, ou procariontes, ou àqueles que não ocorrem em todos os organismos. Em decorrência, existe a possibilidade de que o aluno considere que os processos descritos são universais.

Isso foi evidenciado quando os livros didáticos informam que a síntese de RNA ocorre no núcleo (LDK e LDL) e o RNA sintetizado *migra* para o citoplasma (LDL). Como organismos procariontes não possuem núcleo, essa descrição não procederá para esses seres. A referência (ALBERTS *et al.* 2008, KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK (2008), LODISH *et al.* 2007) atesta que em procariontes, tanto a transcrição, como a tradução ocorrem no mesmo compartimento celular.

Outros livros, contudo, conseguem evitar essa generalização, dizendo 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)) ou, de forma menos específica, 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) ou simplesmente deixando claro que estão descrevendo o processo que ocorre em eucariontes (LDB e LDJ).

Outra generalização similar ocorreu no tratamento do processo de tradução. A referência diz que após sair do sítio P, o tRNA, que carrega o primeiro tRNA, vai para o sítio do ribossomo em procariontes (GRIFFITHS *et al.* 2008, KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008), e dirige-se diretamente para o citoplasma em eucariontes (KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008). Entretanto, tanto o LDK como os LDA, LDJ e LDL distanciam-se 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.

Já um dos livros estadunidenses (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, conforme menciona a referência (GRIFFITHS *et al.* 2008b, p. 336).

Mais um distanciamento presente em um livro brasileiro (LDB) refere-se a como ocorre a conexão entre um aminoácido e o tRNA. No livro diz-se apenas que o tRNA captura os aminoácidos, enquanto a referência diz que a ligação entre um aminoácido e um tRNA é realizada por uma enzima denominada aminoacil-tRNA sintetase (GRIFFITHS *et al.* 2008, KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008). Todavia, há livros didáticos que se aproximam 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) e [...] 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).

Um livro brasileiro (LDB) e outro estadunidense (LDJ) também generalizam dizendo que o que confere a especificidade entre o tRNA e o aminoácido é o anticódon, enquanto a referência diz que o anticódon *pode* determinar qual será o aminoácido a ser ligado ao tRNA. Entretanto, dependendo da sintetase, outros mecanismos podem ser determinantes, como a leitura pela sintetase de outros nucleotídeos presentes em diferentes posições do tRNA. Neste caso, a sequência do anticódon acaba não sendo necessariamente requerida para o reconhecimento da tRNA sintetase (ALBERTS *et al.* 2008, KREBS; GOLDSTEIN; KILPATRICK, 2008).

Outra generalização encontrada em um dos livros brasileiros (LDB) e nos três estadunidenses ocorre quando informam que o anticódon parecia-se ao códon complementar do mRNA. Para a referência, 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. 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 (LODISH *et al.* 2007).

MEIOSE: GENERALIZAÇÕES AO ENSINAR COMO OS GENES SE DISTRIBUEM NOS GAMETAS

A maioria das generalizações referentes ao processo de meiose ocorre quando o livro didático também trata como universal etapas que não ocorrem em todos os organismos.

Dois livros didáticos, um brasileiro (LDC) e outro estadunidense (LDL) afirmam que durante a meiose os centríolos dirigem-se para os polos opostos da célula. Entretanto, não especificam que estão falando estritamente da divisão celular em células animais. Se-

gundo a referência (ALBERTS *et al.* 2008), os centríolos são estruturas encontradas em células desse grupo de organismos, mas há células de outros seres como plantas superiores e até mesmo muitos oócitos animais, que não as possuem. Dessa forma, o aluno que lê tal descrição de meiose pode pensar que todas as células possuem essas estruturas e se dividem da mesma forma.

O mesmo tipo de distanciamento ocorre em outros livros brasileiros quando falam sobre a finalização da primeira divisão da meiose. Eles descrevem simplesmente que ocorrem processos como descondensação dos cromossomos homólogos (LDA, LDB, LDC), reconstituição da membrana nuclear (LDB, LDC) e a interfase (LDB). Todavia, não deixam claro, como faz a referência (GRIFFITHS *et al.* 2008b, LODISH *et al.*, 2007), que isso ocorre apenas em determinados grupos de organismos.

Esta generalização foi facilmente evitada utilizando-se algumas expressões como “em algumas espécies” (LDJ e LDK) que a indicam como uma possibilidade (LDC e LDK). Por exemplo: “In some species, the chromosomes uncoil, the nuclear membrane reappears, and nuclei re-form during telophase I” (LDK, p. 274); “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. Grifo no original).

Uma última generalização relacionada à meiose foi identificada em um dos livros brasileiros (LDB) que diz que os cromossomos homólogos, que migram para os polos opostos da célula, durante a primeira divisão da meiose, são *idênticos*, exceto nos lugares onde ocorreu permuta. Todavia, ao resumir o processo de meiose, a referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b) 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, e não somente devido à recombinação. Portanto, durante a primeira divisão da meiose, um homólogo que migra para um dos polos da célula é diferente do seu par que migra para o outro.



LEIS DE MENDEL: GENERALIZAÇÕES AO FALAR SOBRE LINHAGENS PURAS E SEGREGAÇÃO INDEPENDENTE

Apenas duas generalizações foram encontradas durante a análise do tópico Leis de Mendel. Uma dessas foi identificada quando alguns livros se referem às linhagens puras.

A referência, assim como parte dos livros didáticos analisados, explica essas leis 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 (GRIFFITHS *et al.* 2008b). Já dois livros, um brasileiro (LDA) e outro estadunidense (LDL) distanciam-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.

Todavia, outros livros se aproximam da referência. O LDC diz 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. Grifo no original.). 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. Grifo no original.).

A outra generalização foi identificada quando dois livros consideram como segregação

independente as que ocorrem em genes localizados em diferentes pares de cromossomos. Não especificam, como faz a referência (GRIFFITHS *et al.*, 2008b, WATSON *et al.* 2007), que elas podem também ocorrer em genes localizados no mesmo cromossomo, se houver uma longa distância entre eles (LDA e LDC), devido ao processo de permuta. Apesar de apresentarem separadamente capítulos que falam sobre a permuta, os dois livros didáticos não as mencionam como possibilidade de segregação independente.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados pesquisados mostram que as generalizações estão presentes nos conteúdos de Genética nos livros didáticos brasileiros, porém não são exclusivas do nosso contexto. Foi também possível perceber, na amostra analisada, que a frequência de generalizações muda de acordo com o conteúdo para cada localidade, sendo nos livros brasileiros mais presentes no tópico meiose e nos livros estadunidenses bem concentradas nos conhecimentos sobre expressão gênica.

Algumas pesquisas já trazem dados sobre problemas na apresentação dos conteúdos de Genética encontrados nos livros didáticos (ex. EL HANI *et al.* 2007; FERREIRA; JUSTI 2004; GERICKE; HAGBERG, 2007). Todavia, a presente pesquisa traz um novo elemento a esse quadro de investigação, que consiste em não apenas tratar os distanciamentos como erros e sim explorar a diversidade de naturezas que eles possam ter. Neste artigo, exploramos uma dessas possibilidades: as generalizações.

Optamos por não considerar essas generalizações simplesmente como erros conceituais, pois, para ser considerado um erro conceitual, é preciso que o conhecimento tenha necessariamente quatro aspectos, os quais vêm sendo utilizados durante vários anos em processos oficiais de avaliação de livros didáticos: “[...] 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). As generalizações aqui encontradas não atendem a todos esses aspectos conjuntamente, principalmente quanto ao segundo mencionado.

Por exemplo, o livro (LDL) diz que a síntese de RNA ocorre no núcleo e o RNA sintetizado *migra* para o citoplasma, apesar de não dar maiores detalhes sobre o fato de estar se referindo apenas a eucariontes; por outro lado, fica claro em outros momentos que não faz parte do modelo mental dos autores a existência de apenas um modelo de célula. Por exemplo, cerca de cem páginas antes do tratamento da transcrição gênica, ao falar sobre procariontes e eucariontes, eles afirmam que os organismos procariontes não possuem material genético organizado na forma de núcleo (LDL, p. 173). Apesar de tais generalizações não serem caracterizadas como erros conceituais, consideramos que é preciso refletir sobre a pertinência do uso dessas generalizações. Durante a exposição dos resultados procuramos apresentar alguns exemplos de como alguns livros evitam essas generalizações. A simples referência sobre o grupo de organismos ao qual o processo se refere (eucariontes ou procariontes), ou o uso de termos que relativizem as informações (como “geralmente”), de verbos que indiquem possibilidade e podem ajudar a evitá-las sem, entretanto, precisar entrar em detalhes desnecessários aos estudantes para os quais esses conteúdos estão sendo introduzidos.

Acreditamos que reconhecer essas generalizações é importante para os professores, para que possam relativizá-las para os alunos. Nesse sentido, o ensino do conteúdo específico da área de conhecimento é essencial durante a formação do professor. Entretanto, a resolução brasileira que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a educação básica diz que “os conteúdos a serem ensinados na escolaridade básica devem ser tratados de modo articulado com suas didáticas específicas” (BRASIL, 2002, p. 2). É preciso também que o futuro docente aprenda a ensinar esses conhecimentos, sabendo como utilizar estratégias metodológicas, conhecer possibilidades de contextualização, e ainda aprender a realizar a transposição didática e a vigilância epistemológica mencionadas por Chevallard (1991), sendo capaz de ava-

liar a pertinência tanto dos distanciamentos quanto das aproximações realizadas entre o conhecimento de referência e os conteúdos ensinados pelos livros didáticos e por ele próprio. As generalizações aqui apontadas podem da mesma forma estar presentes na fala do próprio professor. É também por isso que, durante sua formação, é essencial que ele aprenda a refletir sobre a sua própria pertinência e o seu próprio objetivo.

Diante dessa necessidade, não é possível pensarmos em um curso de licenciatura que acredite que a qualidade da formação do professor esteja apenas atrelada ao conhecimento do saber erudito. É preciso que, juntamente com esses conhecimentos, o futuro docente exercite a reflexão responsável e cuidadosa sobre como ensiná-los. Esse processo pode ser iniciado durante sua formação, desde os primeiros momentos, durante as aulas de conhecimento específico de Genética e em outras disciplinas específicas de conhecimentos da Biologia, nas quais pode tanto realizar exercícios de transposição didática, quanto analisar as referentes aos materiais didáticos.

É importante que os professores reconheçam essas – e muitas outras – generalizações a fim de que possam relativizá-las para os alunos quando as julgarem necessárias. Uma vez reconhecida a generalização, o professor pode, desde seu planejamento até a avaliação do conhecimento, explorar as peculiaridades do ensino da Ciência que envolvem, entre outros tantos aspectos, a transposição didática. Ou seja, nem sempre se aprende na escola o conhecimento tal qual ele é praticado, há um intervalo – de tempo e de profundidade – entre a sua produção na academia e a sua difusão nos bancos escolares. Conforme afirma Chevallard (1991), o conhecimento ensinado pode envelhecer e desacordos podem ser gerados pelo progresso na produção do conhecimento científico.

Uma das formas de se evitar as generalizações é a constante procura por atualização por parte do professor. Como o livro didático é uma produção editorial com um longo percurso entre sua concepção e publicação, os novos conhecimentos gerados na academia demandam anos para figurarem em seus textos. Os livros avaliados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), por



exemplo, são apresentados ao MEC dois anos antes de serem entregues aos alunos, com os quais permanecem por três anos. Portanto, de saída, eles não podem incluir conhecimentos que tenham sido gerados até os cinco últimos anos.

Todavia, nem todas as generalizações envolvem a ausência de conhecimentos novos da Ciência. Muitas incidem sobre conhecimentos já consensuais. O exemplo de que alguns livros afirmam simplesmente que a síntese de RNA ocorre no núcleo, generalizando, sem levar em conta a existência desses processos em organismos procariontes, ilustra essa situação. Quando os autores escreveram seus textos, o conhecimento sobre a existência de organismos procariontes já era um consenso. Apenas para se ter uma ideia, uma edição da referência (ALBERTS *et al.* 1997), publicada cerca de dez anos antes da publicação do referido livro didático, já trazia diferenciações entre os processos de transcrição de procariontes e eucariontes, o que já não era novidade na época dessa publicação. Outros livros didáticos do mesmo período aqui analisados, todos em que foi encontrado tal distanciamento, também apresentavam essa informação.

Pode-se cogitar a hipótese do autor, ou de um professor em sua sala de aula, ter a intenção de omitir essa informação pelo fato de ainda não ter trabalhado conhecimentos prévios com os alunos. Todavia, não é o caso, pois, no próprio livro, conhecimentos sobre eucariontes e procariontes são apresentados previamente. Um distanciamento pode ser realizado na sala de aula, quando o professor sente que ele é necessário para a compreensão do aluno, já que, segundo Chevallard (1991), a transposição didática é importante para adequar o conhecimento a ser ensinado em um conhecimento compreensível para o aluno. No entanto, a vigilância epistemológica seria importante para se considerar até quando os distanciamentos gerados são positivos e necessários para a compreensão do aluno.

Cabe ao professor, atento às inovações da ciência, às novas demandas vindas dos alunos, e ao consenso já gerado na academia, não apenas analisar e agilizar essa transposição, mas também ser cuidadoso durante esse

processo, procurando meios de relativizar as generalizações. O professor não precisa necessariamente descartar o livro didático para evitá-las. Uma leitura crítica e atenta com os alunos, apontando-as, e o uso de expressões simples como “geralmente”, “pode”, “na maioria das vezes”, “em organismos eucariontes”, podem ser a solução em muitos casos.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. *Molecular Biology of the Cell*. 5.th ed.. New York e London: Garland Science, 2008.
- ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J. D. *Biologia Molecular da Célula*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 1997.
- ASTOLFI, J.P., E. DAROT, Y. DRINSBURGER-VOGEL E J. TOUSSAINT. As palavras-chave da didática das ciências. (tradução de Maria Ludovina Figueiredo), Lisboa: Instituto Piaget, 2000
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2007.
- BIZZO, N. *Mais Ciência no Ensino Fundamental: metodologia de ensino em foco*. São Paulo: Editora do Brasil, 2009.
- BRASIL, Resolução CNE/CP 01/2002. Brasília: Conselho Nacional de Educação, 2002.
- CHEVALLARD, Y. *La Transposición Didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique, 1991.
- COBERN, W. W. Worldview Theory and Conceptual Change in Science Education. *Science Education*, v. 80, n. 5, p. 579-610, 1996.
- 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.
- 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.

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.

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.

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S. R.; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. *Introduction to Genetic Analysis*. 9.th ed. New York: Feeman and Company, 2008b.

KREBS, J; GOLDSTEIN, E. S.; KILPATRICK, S.T. *Lewin's Genes X*. 10.th ed. Boston, Toronto, London, Singapore: Jones & Barlet Pub, 2008.

LODISH, H. ; BERK, A.; KAISER, C. A.; KRIEGER, M.; SCOTT M. P.; BRETSCHER, A. PLOEGH, H. *Molecular Cell Biology*. 6.th ed. New York: WH Freeman & Co., 2007. 1150 p.

LOPES, A. R. C. *Conhecimento escolar: ciência e cotidiano*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999.

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.

WATSON, J. D.; BAKER, T. A.; BELL, S.P.; GANN, A; LEVINE, M.; LOSICK, R. *Molecular Biology of the Gene*. 6.th ed. San Francisco: Pearson Education, 2006.

ZIMAN, J. *Enseñanza y aprendizaje sobre la ciencia y la sociedad*. México: Fondo de Cultura Económica, 1985.

APÊNDICE A

Chave de identificação dos livros didáticos 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
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