

Como Ensinar a Estudantes Universitários de Ciências Biológicas e de Ciências da Saúde sobre a Crise do Conceito de Gene?

How to Teach Biological and Health Sciences College Students about the Crisis of the Gene Concept?

Lia Midori Nascimento Meyer^a, Gilberto Cafezeiro Bomfim^b, Vanessa Carvalho dos Santos^c, Charbel Niño El-Hani^b

^a Departamento de Biociências, Campus Universitário Prof. Alberto Carvalho - Universidade Federal de Sergipe. Email: lia.midori.meyer@gmail.com;

^b Departamento de Biologia Geral, Instituto de Biologia – Universidade Federal da Bahia. Emails: gilb.bomfim@yahoo.com.br; charbel.elhani@pesquisador.cnpq.br

^c Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde – Universidade Estadual da Paraíba. Email: nessaoaks@yahoo.com.br;

Resumo

Este trabalho relata parte dos resultados de um estudo mais amplo, que investigou características de uma sequência didática sobre o conceito de gene que possibilitam uma compreensão crítica sobre genes destinada ao ensino superior em Ciências Biológicas e da Saúde. A sequência foi construída considerando três dimensões como critérios de justificação *a priori*: epistemológica, psicocognitiva e didática. A validação *a posteriori* foi feita por comparação entre as vias de aprendizagem esperadas e as realizadas. A sequência abordou modelos históricos de genes, a crise do conceito molecular clássico e as reações a esta crise. A aplicação da sequência teve resultados positivos: compreensão dos genes e da função gênica mais complexa e crítica e um menor comprometimento com o conceito molecular clássico e com a concepção informacional pelos estudantes. Apesar dos limites observados, consideramos que uma sequência didática com as características discutidas neste trabalho pode ser positiva para compreensão dos estudantes sobre genes.

Palavras-chave: Sequência didática, Conceito de gene, Modelos, Ensino de genética, Ensino de biologia celular e molecular, Abordagem contextual do ensino de ciências.

Abstract

This work reports results of a broader study, which investigated characteristics of a teaching sequence about the gene concept that make it possible a critical understanding of genes designed to higher education in biological and health sciences. The sequence was built by considering three dimensions as criteria for *a priori* justification: epistemological, psychocognitive, and didactic. *A posteriori* validation was performed by means of a comparison of expected and realized learning pathways. The sequence addressed historical models of genes, the crisis of the classical molecular concept, and reactions to this crisis. The application of the sequence showed positive results: students' understanding about genes and gene function more complex and critical and a less commitment to the classical molecular concept and the informational conception. Although we had observed limits, we consider that a teaching sequence with the characteristics discussed in this work can be positive for students' understanding about genes.

Keywords: Teaching sequence, Gene concept, Models, Genetics teaching, Cell and molecular biology teaching, Contextual approach to science teaching.

Introdução

O conceito de gene vem sendo objeto de controvérsias na filosofia da biologia desde a década de 1980, tendo sido inclusive considerado por vários autores um conceito em crise (Falk, 2000; Keller, 2000). Mais recentemente, as dificuldades enfrentadas por este conceito e a necessidade de reformulá-lo foram reconhecidas no âmbito da própria biologia (e.g., Pearson, 2006; Gerstein et al., 2007, Scherrer e Jost, 2007a,b), inclusive em trabalhos experimentais (Wang et al., 2000; Kampa *et al.*, 2004).

Esta crise envolve um modo particular de compreender a natureza do gene, o chamado “conceito molecular clássico” (Griffiths e Neumann-Held, 1999; Stotz et al., 2004), de acordo com o qual um gene é uma sequência de DNA que codifica um produto funcional, que pode ser uma molécula de RNA ou um polipeptídeo. A crise resulta da impossibilidade de acomodar neste conceito, no qual o gene é entendido como uma unidade estrutural e funcional, uma série de anomalias resultantes dos avanços da biologia molecular e da genética dos últimos trinta anos, como, por exemplo, genes interrompidos, *splicing* alternativo, genes sobrepostos, edição de mRNA (Falk, 1986, 2000; Fogle, 1990, 2000; Pardini e Guimarães, 1992; Griffiths e Neumann-Held, 1999; Keller, 2000; Moss, 2001, 2003; El-Hani, 2007).

Termos como “informação genética”; “código genético” e “programa” permeiam os discursos sobre genes, constituindo o chamado “discurso da informação” (El-Hani *et al.*, 2006, 2009). Este discurso contribuiu para que fosse atribuída ao gene também a ideia de que seria uma unidade informacional. Contudo, tais termos não são mais do que metáforas que têm se mostrado problemáticas em virtude da ausência de definições claras e precisas sobre o que seria a “informação” na Biologia (Griffiths, 2001; El-Hani *et al.*, 2006, 2009).

De um modo geral, os debates sobre a crise do conceito de gene, travados na esfera da pesquisa acadêmica, não alcançaram as salas de aula. Eles estão ausentes nos livros didáticos de biologia celular e molecular usados no ensino superior em todo o mundo (Pitombo *et al.*, 2008a,b) e em livros didáticos de biologia para o ensino médio publicados no Brasil (Santos e El-Hani, 2009, no prelo). Além disso, foi encontrado, com alta frequência, o conceito molecular clássico em livros didáticos (Gericke e Hagberg, 2007b; Pitombo *et al.*, 2008a,b; Gericke, 2009; Santos e El-Hani, 2009, no prelo), assim como nas concepções de estudantes do ensino superior (Joaquim, 2009), apesar dos problemas enfrentados por ele. Estes achados indicam que há uma lacuna entre o conhecimento atual sobre os genes, na esfera da pesquisa acadêmica, e o conhecimento escolar, veiculado no ensino de genética e biologia celular e molecular.

Há na literatura diversos estudos que discutem concepções ou ideias alternativas apresentadas por estudantes sobre genes e conceitos relacionados, como DNA, cromossomos, alelos, herança etc. (para uma revisão, ver Banet e Ayuso, 2003). Tendo em vista a relação entre o conceito de gene e diversos outros conceitos da genética e da biologia celular e molecular, uma abordagem explícita sobre genes permite não só o desenvolvimento de concepções mais adequadas sobre genes, mas também, por implicação, uma compreensão mais clara de uma série de conceitos relacionados. Além disso, é possível que confusões conceituais associadas a visões deterministas sobre o papel dos genes no desenvolvimento sejam enfraquecidas, viabilizando uma aprendizagem mais crítica, com implicações sociais importantes.

Este trabalho tem como objetivo, então, investigar características que possam tornar uma sequência didática sobre este conceito capaz de desafiar as concepções problemáticas que se mostraram freqüentes em livros didáticos e na concepção de estudantes do ensino superior.

Modelos históricos de gene

A sequência didática investigada aborda o conceito de gene de uma perspectiva contextual (Matthews, 1994), considerando a dimensão epistemológica e histórica da pesquisa científica em genética e em biologia celular e molecular. Ela tomou como base, então, um tratamento histórico de diversos modelos desenvolvidos ao longo do século XX para tratar de genes e da função gênica. Trabalhamos com quatro modelos históricos identificados por Gericke e Hagberg (2007a): mendeliano, clássico, bioquímico-clássico e neoclássico (que preferimos chamar, seguindo Griffiths e Neumann-Held, 1999 e Stotz *et al.*, 2004, de molecular clássico).¹ Além disso, na construção da sequência tiveram papel central estudos epistemológicos sobre o conceito (e.g., Falk, 1986; Fogle, 1990; Griffiths e Neumann-Held, 1999; Keller, 2000; Moss, 2003; El-Hani, 2007), incluindo investigações sobre suas implicações para o ensino (e.g., Gericke e Hagberg, 2007a,b, 2009; Smith e Adkison, 2010).

Reações à crise do conceito de gene

Como discutimos acima, o tratamento dos genes como “unidades” sofreu uma série de dificuldades com os avanços da pesquisa genética nas últimas três décadas, resultando na chamada “crise do conceito de gene” (Keller, 2000; El-Hani, 2007). As reações a esta crise tiveram, pois, papel importante na sequência didática. Diante desta crise, alguns pesquisadores, como Portin (1993), Gelbart (1998) e Keller (2000), chegaram a propor que o conceito de gene deveria ser abandonado. Contudo, outra reação comum diante desta crise tem sido o desenvolvimento de propostas de revisão conceitual. Algumas dessas propostas, além da sugestão do abandono do conceito de gene, foram incluídas na sequência: o tratamento de genes não como unidades físicas no genoma, mas como processos que emergem no contexto celular e extracelular (Griffiths e Neumann-Held, 1999; El-Hani *et al.*, 2009); a diferenciação de significados atribuídos ao conceito, como na proposta de Moss (2001, 2003) de distinção entre gene-P e gene-D, ou na distinção de Scherrer e Jost (2007a,b) entre gene (localizado no RNA), genon e transgenon; o tratamento de genes como conjuntos de domínios para a transcrição ativa (Fogle, 1990, 2000); genes como combinação de sequências de ácidos nucleicos (DNA ou RNA), definidas pelo sistema celular e correspondentes a um produto (RNA ou polipeptídeo) (Pardini e Guimarães, 1992); propostas que levam em conta desenvolvimentos recentes da pesquisa em genética, biologia molecular, genômica e proteômica, que tiveram impactos importantes sobre nossa compreensão dos genes - Projeto Genoma Humano (PGH) (Venter *et al.*, 2001; Smith e Adikson, 2008) e Enciclopédia dos Elementos do DNA (ENCODE) (Gerstein *et al.*, 2007; Smith e Adkison, 2008).

Metodologia

Abordagem metodológica

Adotamos neste estudo uma metodologia qualitativa, tendo em vista que o ambiente natural da sala de aula foi uma das fontes de dados, com contato direto e prolongado dos pesquisadores, e os dados foram de natureza principalmente descritiva.

¹ Para uma descrição detalhada dos modelos históricos de gene, recomendamos a leitura de Gericke e Hagberg (2007a), Gericke (2009) e Meyer *et al.* (no prelo).

Construção da sequência didática

A sequência didática foi construída através de trabalho colaborativo com um professor da disciplina Biologia Celular e Molecular, da Universidade Federal da Bahia.² Para construí-la, utilizamos os critérios de justificação *a priori* discutidos por Méheut (2005), com o objetivo de elaborar uma sequência clara e adequada para o contexto de seu uso. Estes critérios incluem três dimensões: 1) dimensão epistemológica, relacionada aos conteúdos a serem aprendidos, aos problemas que eles podem resolver e à sua gênese histórica; 2) dimensão psicocognitiva, relacionada às características cognitivas dos estudantes; 3) dimensão didática, que analisa restrições do funcionamento da instituição de ensino (programas, cronogramas etc.) (ver tb. Nascimento *et al.*, 2009). Em vista destas restrições, a sequência foi construída com duração de cinco horas, distribuídas em dois dias de aula.³

Para planejar as atividades, utilizamos a ferramenta de análise de interações discursivas e produção de significados na sala de aula de ciências desenvolvida por Mortimer e Scott (2002, 2003), que tem como base uma abordagem sociocultural do processo de ensino e de aprendizagem, baseada nos trabalhos de Vygotsky e Bakhtin.

Contexto do estudo

O estudo foi realizado em duas turmas de estudantes ingressantes do curso de Medicina de uma Universidade Federal brasileira, que cursavam a disciplina Biologia Celular e Molecular no semestre 2009.2, sob responsabilidade do professor-investigador que participou de nosso estudo. De um total de 24 estudantes, 11 compunham a turma que assistiu às aulas da disciplina no formato usualmente empregado pelo professor, no qual não se faz qualquer discussão explícita sobre o conceito de gene (chamaremos esta turma de A); e 13 compunham a turma que, além dessas aulas, também participou das aulas da intervenção didática, que discutia explicitamente a crise do conceito de gene (Turma B).

Validação da intervenção didática

Para investigar a relação entre as características da intervenção didática que construímos e a aprendizagem dos estudantes, utilizamos um dos critérios de validação *a posteriori* discutidos por Méheut (2005), a validação interna, que busca verificar os efeitos da intervenção didática em termos da aprendizagem efetivamente realizada em relação aos objetivos de ensino que orientaram a sua construção. Esta validação foi realizada mediante comparação entre o modo como os estudantes da Turma B mobilizavam idéias sobre genes num contexto discursivo estruturado pelo instrumento de coleta de dados (um questionário) em três momentos - antes, logo após e dois meses após a intervenção.

Estudo comparativo

Realizamos estudo comparativo entre as Turmas A e B para investigar a evolução da concepção sobre genes dos estudantes ao longo do semestre, sem a influência e sob a influência de uma abordagem explícita sobre o conceito de gene, respectivamente. Foi usado o mesmo desenho metodológico acima.

Instrumento de coleta de dados

² Nosso objetivo inicial era trabalhar com uma turma de Biologia, especialmente de licenciatura, tendo em vista a importância de formar professores com visão mais crítica a respeito do conceito de gene. Contudo, a turma destinada ao professor que concordou em participar da pesquisa era de calouros de Medicina. Entretanto, não podemos perder de vista que a disciplina Biologia Celular e Molecular também é oferecida a estudantes de Biologia no início do curso, incluindo professores em formação.

³ A sequência pode ser acessada em Meyer (2010).

Utilizamos um questionário como ferramenta de coleta de dados, construído a partir de um subconjunto de questões de um instrumento maior, empregado por Joaquim (2009), mas com algumas modificações, validadas em um teste piloto realizado com dez respondentes.

O questionário é composto de três partes: “A”, relativa aos dados gerais dos estudantes; “B”, com quatro questões abertas; e “C”, com quatro questões fechadas. No presente estudo, relatamos os resultados apenas da primeira questão da parte B (aberta) e da terceira e quarta questões da parte C (fechada), que buscavam verificar as concepções de gene dos estudantes.

Na parte B, a primeira questão perguntava: “Em sua visão, o que é um gene?”. Trata-se de uma questão de natureza aberta e divergente, que permite levantar uma diversidade de idéias dos estudantes sobre genes. A terceira e quarta questões da parte C visavam verificar como os estudantes caracterizavam o que é um gene via sua escolha de respostas entre alternativas que abrangiam diversas idéias sobre o conceito encontradas na literatura. Na terceira questão, o estudante só poderia escolher uma alternativa, de modo que poderíamos verificar qual a principal concepção que ele associaria ao gene e confrontá-la com a resposta dada à primeira questão da parte B, de caráter aberto. Na quarta questão, o estudante deveria marcar todas as alternativas que julgasse aceitáveis. Se o estudante marcasse alternativas referentes a diferentes modelos e conceitos de genes, isso poderia significar duas coisas distintas: 1) o estudante possuía uma concepção híbrida sobre genes; 2) o estudante percebia que há diferentes modelos válidos sobre o conceito de gene, cada um aplicável a um contexto distinto. Contudo, nesse ponto, o instrumento revela uma fragilidade, porque que não cria condições explícitas para avaliarmos em qual das duas situações o estudante se enquadrava. Indicações a este respeito podiam ser obtidas, no entanto, das respostas dos estudantes à primeira questão aberta, que permitiam inferir se estavam fazendo distinções de contextos de aplicação ou apenas justapondo idéias pertinentes a modelos e conceitos distintos.

Análise dos dados

A análise da primeira questão aberta (parte B) seguiu um processo indutivo, característico de estudos qualitativos (Bogdan e Biklen, 1982) na qual as categorias emergiam das respostas. Contudo, a compreensão das categorias era fundada em nosso conhecimento da literatura científica, histórica e filosófica sobre o conceito de gene.

As respostas à questão aberta foram validadas por outro pesquisador. A taxa de concordância das análises foi de 89,1%. As discordâncias foram discutidas com um terceiro pesquisador e pelo professor da disciplina, chegando-se a um consenso de 94,4%. Não houve consenso em apenas uma resposta, que foi desconsiderada na análise dos dados.

Nas questões fechadas 3 e 4 (parte C), as alternativas escolhidas pelos estudantes foram simplesmente quantificadas e suas frequências calculadas.

Resultados e Discussão

A partir da análise das respostas à primeira questão aberta, oito categorias emergiram: a) Mendeliano; b) Molecular clássico; c) Informacional; d) Gene-P; e) Processual; f) Pluralista; g) Percepção do problema; h) Molecular contemporâneo.

Na categoria “mendeliano”, incluímos respostas em que o gene era visto como responsável pela transmissão de características, como, por exemplo:

“É a unidade do genoma responsável pela transmissão de características relacionadas com o aspecto biopsicossocial do indivíduo. Cada gene está relacionado com a

transmissão de características específicas. Ex: cor dos olhos, lóbulo da orelha, quantidade de um determinado hormônio”. (A4; T.A.; M1)⁴

A categoria “molecular clássico” incluía respostas que consideravam o gene como uma sequência de DNA, responsável pela produção de um RNA ou um polipeptídeo:

“Gene é uma sequência de nucleotídeos que determina a síntese de uma proteína”. (A5; T.A.; M2)

A categoria “informacional” foi composta por respostas que tratam o gene como um portador ou transmissor de informação, como no seguinte exemplo:

“Gene é a unidade de armazenamento de dados da espécie. A união dos genes (que estão no DNA) forma o genoma, onde estão todas as informações para o desenvolvimento do ser”. (A2; T.B.; M1)

Na categoria “Gene-P”, foram incluídas respostas que consideravam o gene como um determinante de fenótipos, como segue:

“É uma unidade que corresponde a uma característica, quando expressa, tal característica varia de cor dos olhos, aparência física à personalidade do indivíduo”. (A2; T.A.; M1)

A categoria “processual” contém respostas em que o estudante assume que o gene é um processo que ocorre na célula, influenciado por múltiplos fatores. Essa categoria apareceu sempre em respostas híbridas, como, no seguinte exemplo, que hibridiza as categorias “processual” e “informacional”:

“Um processo que engloba vários fatores com o objetivo de gerar um produto e transmitir informações conservadas”. (A10; T.B.; M2)

A categoria “pluralista” reúne respostas que consideram que o gene pode ser entendido de diferentes maneiras, a depender do contexto em que este conceito é utilizado:

“O conceito de gene é relativo e depende da maneira como o gene vai ser estudado. Ele pode ser entendido como uma estrutura física que dará origem a RNAs e proteínas ou como fruto de um processo ou o próprio processo, por exemplo”. (A1; T.B.; M2)

Na categoria “percepção do problema”, temos respostas em que o aluno reconhece que o conceito de gene está enfrentando problemas, mas não apresenta idéias relativas a qualquer modelo de gene:

“Antes eu diria que gene é uma sequência de DNA que codifica uma cadeia polipeptídica (de acordo com o modelo molecular clássico), mas, considerando os mecanismos de edição de mRNA, o conceito pode ser abolido, modificado ou amplificado, e agora?”. (A9; T.B.; M2)

Na categoria “molecular contemporâneo”, estão respostas em que o aluno considera que o gene pode originar mais de um produto e/ou que é interrompido e/ou que pode sofrer *splicing* alternativo, mas o gene é ainda molecular e ainda constitui uma unidade de transcrição:

“Sequência específica de DNA que permite a transcrição de um mRNA, que pode ser traduzido em diferentes proteínas. Sequências estas constituídas de introns (que serão removidas através do *splicing*) e os éxons (que podem ser recombinados)”. (A7; T.A.; M1)

⁴ Cada aluno é identificado pela sigla “A”, seguida de um número. “T.A.”; “T.B.”: Turmas. M1; M2; M3: Momentos de aplicação do questionário. Estas últimas siglas serão utilizadas também nas figuras.

Houve casos em que a resposta do estudante trazia idéias relativas a mais de uma categoria. Encontramos elevadas taxas de sobreposição de categorias nas duas turmas estudadas e nas três aplicações do questionário: 36,4% em M1 e M2, e 40% em M3, na Turma A; e 38,5% em M1 e M2, e 53,8% em M3, na Turma B. Joaquim (2009) também encontrou altas taxas de sobreposição para a mesma questão 1 do instrumento de coleta de dados que usamos: 21,7%, entre alunos de um dos cursos de Biologia investigados, e 38,5%, com alunos do outro curso.

A frequência das categorias obtidas na questão 1 em cada turma, nos três momentos de aplicação do questionário, pode ser vista na Figura 1.

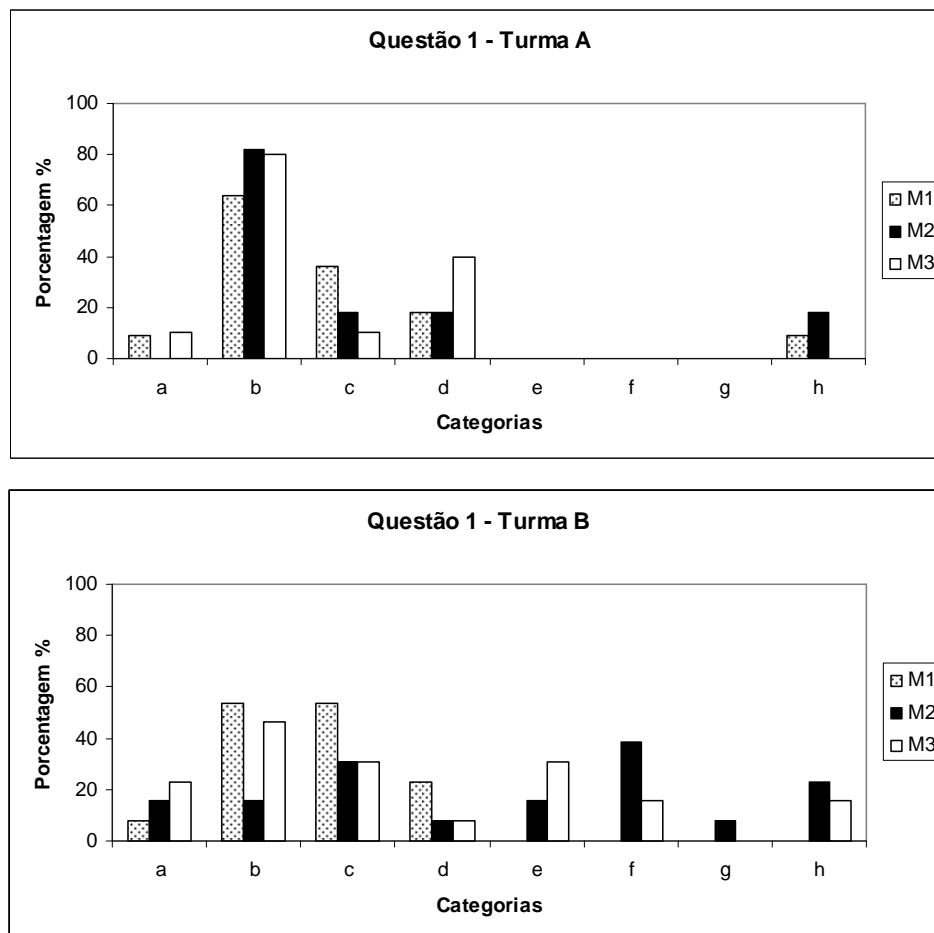


Fig. 1. Distribuição das respostas dos estudantes das Turmas A e B nas categorias construídas para a questão “Em sua visão, o que é um gene?”: a) Mendeliano; b) Molecular clássico; c) Informacional; d) Gene-P; e) Processual; f) Pluralista; g) Percepção do problema; h) Molecular contemporâneo.

Na Turma A, nas três aplicações do questionário, predominou a categoria “molecular clássico”, sendo que a frequência desta aumentou logo após o ensino de conteúdos de biologia molecular (M2) e se manteve dois meses depois (M3). Ao examinarmos os resultados da Turma A na questão 3 (Fig. 2), verificamos que também houve predomínio da categoria “molecular clássico” (b) no início do semestre (M1), enquanto, em M2 e M3, as categorias “molecular clássico” (b) e “informacional” (i) foram as mais frequentes. Esses resultados indicam que os alunos que assistiram às aulas da disciplina que foram ministradas do modo usual reforçaram o conceito molecular clássico de gene, que provavelmente traziam do ensino médio, além de sedimentarem uma concepção informacional de gene. Resultado similar foi obtido por Joaquim (2009), em três das quatro turmas de estudantes de dois cursos diferentes de Ciências Biológicas, que já haviam cursado a disciplina Biologia Celular e Molecular, em que se aplicou a mesma questão. Esses resultados são compatíveis também às visões de gene

predominantes em livros didáticos do ensino médio (Gericke e Hagberg, 2007b; Gericke, 2009; Santos e El-Hani, 2009) e superior (Pitombo *et al.*, 2008a,b), em que o conceito molecular clássico e a concepção informacional ocorreram com alta frequência.

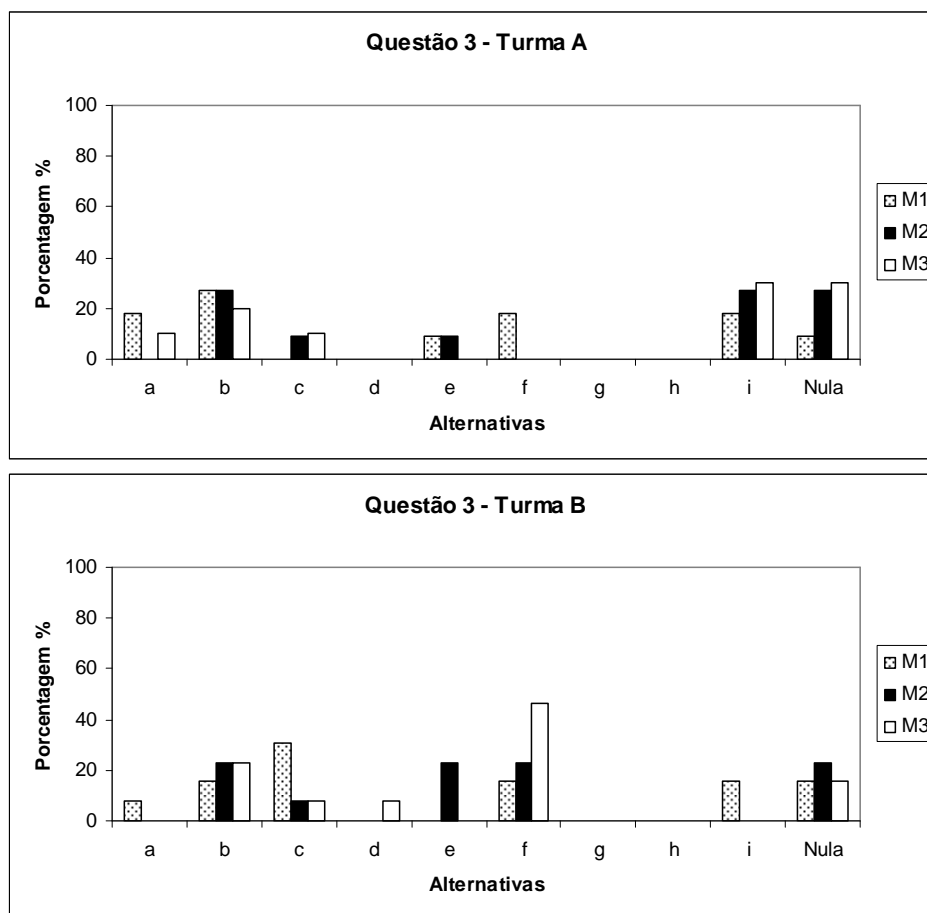


Fig. 2. Distribuição das respostas dos estudantes das Turmas A e B para a terceira questão fechada, com escolha forçada das alternativas: (a) mendeliano; (b), (g) e (h) molecular clássico; (c) e (i) informacional; (d) Gene-P; (e) Gene-D; (f) molecular processual. Nula: alunos que não responderam ou marcaram mais de uma alternativa.

Na Turma B, por sua vez, na primeira questão aberta (Fig. 1), houve predomínio das categorias “molecular clássico” e “informacional” em M1, o que indica que, como na Turma A, os estudantes haviam saído do ensino médio com forte influência destas concepções. Contudo, logo após a intervenção (M2), essas categorias tiveram menor representação e a categoria “pluralista” foi a mais frequente. Esta é uma categoria interessante, em vista dos objetivos de ensino assumidos na intervenção didática, na medida em que o estudante não se compromete com uma única concepção de gene, reconhecendo que o gene pode ter diferentes significados, a depender do seu contexto de aplicação. Além da categoria pluralista, as categorias “processual” e “percepção do problema” também apareceram em M2, na Turma B. Esses resultados indicam que, logo após a intervenção didática, os estudantes da Turma B diversificaram suas visões sobre genes, concebendo-os de forma mais complexa e crítica.

Dois meses após a intervenção (M3), no entanto, houve um retorno ao conceito molecular clássico na turma B. Esse retorno não nos parece surpreendente. Ele revela apenas que 5 horas de aula não são suficientes para combater uma visão tão fortemente arraigada na formação dos alunos. Seria necessário que o estudante entrasse em contato repetidas vezes com situações que desafiam o conceito molecular clássico, o que não era possível dadas as restrições de carga horária que recaíram sobre a sequência.

Outro achado importante em M3, na Turma B, foi a ausência de um retorno da concepção informacional. Neste caso, a sequência didática foi bem sucedida em desafiar uma idéia vaga sobre genes que é muito prevalente em livros didáticos do ensino médio (Santos e El-Hani, 2009, no prelo) e superior (Pitombo *et al.*, 2008a,b; Flodin, 2009), assim como entre estudantes (Joaquim, 2009).

Houve também um aumento notável da concepção processual em M3, além da mobilização da concepção pluralista e da concepção molecular contemporânea, que é mais crítica do que o conceito molecular clássico, por alguns alunos, o que pode ser considerado positivo à luz dos objetivos da intervenção didática, na medida em que se trata de uma concepção que requer do aluno uma elaboração mais complexa do conceito de gene. Em termos gerais, a sequência foi capaz de promover uma diversidade de idéias sobre os genes de caráter mais crítico, que se mantiveram dois meses após sua aplicação, o que fornece um indicativo de aprendizagem duradoura pelos estudantes. A diversidade de idéias sobre genes na Turma B se torna bastante clara quando comparamos os resultados desta turma e da Turma A.

Comparando agora os resultados da questão 1 com os resultados da questão 3 (Fig. 2) na Turma B, verificamos resultados parecidos tanto em M2 como em M3. Em M2, houve um retorno ao conceito molecular clássico (b), enquanto em M3 houve grande aumento da concepção molecular processual (f). Houve, ainda, queda substancial da concepção informacional em M2, que se manteve em M3.

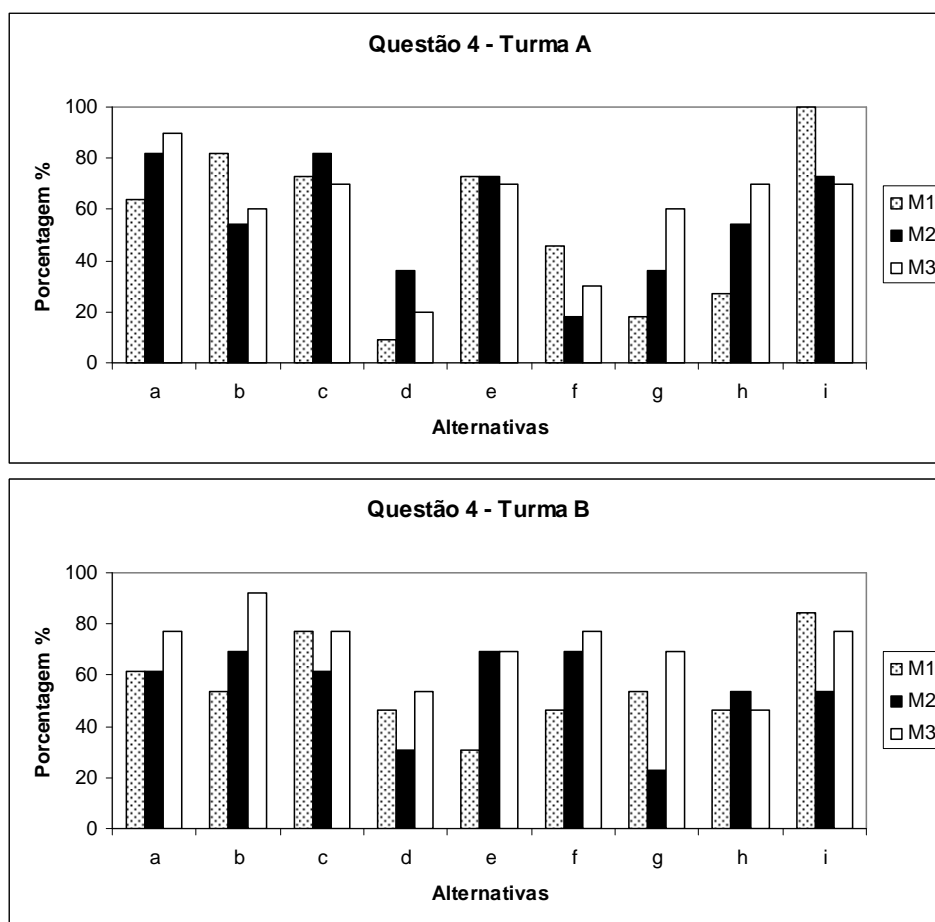


Fig. 3. Distribuição das respostas dos estudantes das Turmas A e B para a quarta questão, fechada e com escolha livre das alternativas: (a) mendeliano; (b), (g) e (h) molecular clássico; (c) e (i) informacional; (d) Gene-P; (e) Gene-D; (f) molecular processual.

As respostas da questão 4 (Fig. 3), quando analisadas em conjunto com as respostas da questão 1, permitem inferir que os estudantes hibridizam modelos e conceitos de gene, na medida em que eles marcaram muitas alternativas com grande frequência, nas duas Turmas.

Estes resultados apontam para a necessidade de explicitar e demarcar claramente, na sequência didática e, mais do que isso, ao longo de toda a formação do estudante, diferentes modelos e conceitos de gene, de maneira epistemológica e historicamente informada.

No caso da Turma B, podemos dizer, contudo, que ao menos alguns estudantes podem não estar meramente justapondo categorias. Isso porque, na questão 1, as respostas de estudantes da Turma B categorizadas como “pluralista” nos forneceram um indício de que estes estudantes aceitavam mais de um modelo ou conceito de gene no contexto de um reconhecimento da distinção e especificidade de seus domínios de aplicação, por exemplo:

“O gene pode ser definido de várias maneiras, a depender do modelo utilizado”. (A11; T.B.; M3)

Na Turma A, por sua vez, nenhuma resposta dos estudantes foi categorizada como “pluralista”.

Conclusões

Podemos concluir que o estudo levou a uma validação interna da sequência didática, que favoreceu a construção de uma compreensão mais crítica sobre os genes e seu papel nos sistemas vivos pelos estudantes universitários investigados. As seguintes características da sequência didática nos parecem importantes para este resultado: levar em conta a dimensão epistemológica e histórica dos debates sobre o conceito de gene; considerar, na recontextualização desses debates, os aspectos psicocognitivos dos estudantes, assim como as restrições didáticas impostas pela disciplina; incluir um planejamento claro, orientado por alguma teoria educacional, que em nosso estudo seguiu uma abordagem sociocultural, utilizando a ferramenta de análise de interações discursivas desenvolvida por Mortimer e Scott (2002, 2003) baseada em trabalhos de Vygotsky e Bahktin. A partir dela, planejamos como seriam conduzidas as interações discursivas com os estudantes ao longo da sequência, de modo a propiciar condições para uma apropriação dos debates sobre o conceito de gene.

Não podemos perder de vista, contudo, dois limites encontrados: o insucesso em desafiar o conceito molecular clássico e a manutenção de uma hibridização de conceitos e modelos de genes pelos estudantes. Para um resultado mais duradouro, os estudantes precisariam entrar em contato mais vezes com esses debates sobre o conceito de gene e com a explicitação e demarcação dos distintos modelos e conceitos, ao longo da sua formação.

Nossos resultados indicam que uma abordagem epistemológica e historicamente informada de conceitos e modelos de genes, tal como proposta na sequência didática que construímos, tem impacto positivo sobre as idéias dos estudantes sobre genes. É nossa expectativa, então, que sequências didáticas com as características discutidas no presente trabalho venham a ser utilizadas em disciplinas de Genética ou Biologia Celular e Molecular de diversos cursos de Ciências Biológicas e da Saúde, de forma a contribuir para a formação de pesquisadores e professores com uma compreensão mais crítica sobre os genes e seu papel nos sistemas vivos.

Referências

BANET, E., AYUSO, G. E. Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25(3), 373-407, 2003.

- BOGDAN, R. G., BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação*. Uma introdução à Teoria e ao Método. Portugal: Porto Editora, 1994.
- EL-HANI, C. N. Between the cross and the sword: the crisis of the gene concept. *Genetics and Molecular Biology*, 30(2), 297-307, 2007.
- EL-HANI, C. N., QUEIROZ, J., EMMECHE, C. A semiotic analysis of the genetic information system. *Semiotica*, 160(1/4), 1-68, 2006.
- EL-HANI, C. N., QUEIROZ, J., EMMECHE, C. *Genes, information, and semiosis*. Tartu: Tartu University Press (Tartu Semiotics Library), 2009.
- FALK, R. What is a gene? *Studies in the History and Philosophy of Science*, v. 17, p. 133-173, 1986.
- FALK, R. The gene – A concept in tension. In: BEURTON, FALK e RHEINBERGER (Ed.). *The concept of the gene in development and evolution*. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 2000. p. 317-348.
- FLODIN, V. S. The Necessity of Making Visible Concepts with Multiple Meanings in Science Education: The Use of the Gene Concept in a Biology Textbook. *Science and Education*, v. 18, p. 73-94, 2009.
- FOGLE, T. Are genes units of inheritance? *Biology and Philosophy*, v. 5, p. 349-371, 1990.
- FOGLE, T. The dissolution of protein coding genes. In: BEURTON, FALK e RHEINBERGER (Ed). *The concept of the gene in development and evolution*. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 2000. p. 3-25.
- GELBART, W. Databases in genomic research. *Science*, v. 282, p. 659-661, 1998.
- GERICKE, N., HAGBERG, M. Definiton of Historical Models of Gene Function and their Relation to Students' Understandings of Genetics. *Science & Education*, v. 16, p. 849-881, 2007a.
- GERICKE, N., 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. *Anais do IOSTE - International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks*, University of Tunis, Hammamet, p. 554-563, 7-10 Feb, 2007b.
- GERICKE, N. *Science versus School-science*. Multiple models in genetics – The depiction of gene function in upper secondary textbooks and its influence on students' understanding. Tese. Karlstad University Studies, Karlstad, Suécia, 2009.
- GERSTEIN M. B., BRUCE C., ROZOWSKY J. S., ZHENG D., DU J., KORBEL J. O., *et al.* What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition. *Genome Research*, v. 17, p. 669–681, 2007.
- GRIFFITHS, P. E. Genetic information: A metaphor in search of a theory. *Philosophy of Science*, v. 68, p. 394-403, 2001.
- GRIFFIHTS, P. E., NEUMANN-HELD, E. The many faces of the gene. *BioScience*, v. 49, p. 656-662, 1999.
- JOAQUIM, L. M. *Genes: questões epistemológicas, conceitos relacionados e visões de estudantes de graduação*. Dissertação. Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia, 2009.
- KAMPA, D., CHENG, J., KAPRANOV, P., YAMANAKA, M., BRUBAKER, S., CAWLEY, S., *et al.* Novel RNAs identified from an in-depth analysis of the transcriptome of human chromosomes 21 and 22. *Genome Res*, v. 14, p. 331-342, 2004.

KELLER, E. F. *The century of the gene*. Cambridge-MA: Harvard University Press, 2000.

MATTHEWS, M. History, philosophy and science teaching: The present rapprochement. *Science & Education*, v. 1, n. 1, p. 11-47, 1992. Tradução publicada em Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1994.

MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: BOERSMA *et al.* (Ed.), *Research and the quality of science education*. Dordrecht: Springer, 2005. p. 195-207.

MEYER, L. M. M. *Como Ensinar a Estudantes Universitários de Ciências Biológicas e Ciências da Saúde sobre a Crise do Conceito de Gene?* Dissertação. Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia, 2010.

MEYER, L. M. M., BOMFIM, G. C., EL-HANI. How to understand the gene in the 21st century? *Science & Education*, no prelo.

MORTIMER, E. F., SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 3, 2002.

MORTIMER, E. F., SCOTT, P. H. *Meaning making in secondary science classrooms*. Philadelphia: Open University Press, 2003.

MOSS, L. Deconstructing the gene and reconstructing molecular developmental systems. In: Oyama., Griffiths e Gray (Ed.). *Cycles of contingency: Developmental systems and evolution*. Cambridge-MA: MIT Press, 2001. p. 85-97.

MOSS, L. *What genes can't do*. Cambridge-MA: MIT Press, 2003.

NASCIMENTO, L. M. M, GUIMARÃES, M. D. M, EL-HANI, C. Construção e avaliação de sequencias didáticas para o ensino de Biologia: uma revisão crítica da literatura. *Atas do VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Nov. 2009.

PARDINI, M. I. M. C., E GUIMARÃES, R. C. A systemic concept of the gene. *Revista Brasileira de Genética*, v. 15, n. 713-721, 1992.

PEARSON, H. What is a gene? *Nature*, v. 441, p. 399-401, 2006.

PITOMBO, M. A., ALMEIDA, A. M. R., EL-HANI, C. N. Gene concepts in higher education cell & molecular biology textbooks. *Science Education International*, 19(2), 219-234, 2008a.

PITOMBO, M. A., ALMEIDA, A. M. R., EL-HANI, C. N. Conceitos de gene e idéias sobre função gênica em livros didáticos de biologia celular e molecular do ensino superior. *Contexto e Educação*, 77, 81- 110, 2008b.

PORTIN, P. The concept of the gene: Short history and present status. *Quarterly Review of Biology*, v. 56, p. 173-223, 1993.

SANTOS, V. C., EL-HANI, C. N. Idéias sobre genes em livros didáticos de biologia do ensino médio publicados no Brasil. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(1), 2009.

SANTOS, V. C.; JOAQUIM, L. M. & EL-HANI, C. N. Hybrid deterministic views about genes in biology textbooks: A key problem in genetics teaching. *Science & Education*, no prelo.

SCHERRER, K. E JOST, J. The gene and the genon concept: A functional and information-theoretic analysis. *Molecular System Biology*, v. 3, p. 1-11, 2007a.

SCHERRER, K. E JOST, J. The gene and the genon concept: Coding versus regulation. A conceptual and information-theoretic analysis storage and expression in the light of modern molecular biology. *Theory in Biosciences*, v. 126, p. 65-113, 2007b.

SMITH, M., ADKISON L. Updating the model definition of the gene in the modern genomic era with implications for instruction. *Science & Education*, v. 19, p. 1-20, 2010.

STOTZ, K., GRIFFITHS, P. E., KNIGHT, R. How biologists conceptualize genes: An empirical study. *Studies in the History and Philosophy of Biological & Biomedical Sciences*, v. 35, p. 647-673, 2004.

VENTER, J. C., ADAMS, M. D., MYERS, E. W., LI, P. W., MURAL, R. J., SUTTON, G. G., *et. al.* The sequence of the human genome. *Science*, v. 291, p. 1305-1351, 2001.

WANG, W., ZHANG, J., ALVAREZ, C., LLOPART, A. E., LONG, M. The origin of the *Jingwei* gene and the complex modular structure of its parental gene, *Yellow Emperor*, in *Drosophila melanogaster*. *Mol Biol Evol*, v. 17, p. 1294-1301, 2000.