



EVOLUÇÃO BIOLÓGICA: ECO-EVO-DEVO NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES E PESQUISADORES

Biological evolution: ECO-EVO-DEVO in initial teachers and researchers education

Thais Benetti de Oliveira¹
Fernanda da Rocha Brando²
Ana Maria de Andrade Caldeira³

Cómo citar este artículo: Oliveira, T.B., Rocha, F., Andrade, A.M. (2017). Evolução biológica: eco-evo-devo na formação inicial de professores e pesquisadores. *Góndola, Enseñ Aprend Cienc*, 12(2), 81-98.
doi: 10.14483/23464712.10847.

Recibido: 19 de agosto 2016 / Aceptado: 17 de marzo de 2017

Resumo

A epistemologia é uma área que fornece aportes para reflexão sobre a natureza e construção dos conhecimentos. No que é referente às Ciências Biológicas, o conceito de evolução é entendido como um eixo integrador dessa Ciência e, portanto, deve representar a integração das diversas áreas da Biologia. Um estudo epistemológico sobre evolução permite que identifiquemos uma abordagem recente de pesquisa denominada ECO-EVO-DEVO, a qual apresenta um sincronismo entre desenvolvimento, organismo e ambiente no processo evolutivo e na constituição da diversidade fenotípica. Entendemos que é de ostensiva importância que essa abordagem seja discutida durante a Formação Inicial de professores e pesquisadores em Ciências Biológicas e, portanto, pretendemos investigar meios de representá-la como uma forma a facilitar sua inserção na sala de aula. Para a realização desta investigação, organizamos um Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB) onde foram propostas discussões acerca da evolução biológica a partir dessa abordagem. Desta forma, este artigo é sistematizado por meio de três principais eixos: 1) as características do conhecimento biológico integrado; 2) a epistemologia como parte

1. Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho - Campus Bauru (FC-UNESP). Av. Luís Edmundo Carrijo Coube, s/n, Vargem Limpa. Bauru, SP - Brasil. CEP: 17033-360. E-mail: thabenetti@fc.unesp.br
2. Departamento de Biologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP). Av. Bandeirantes, 3900, Monte Alegre. Ribeirão Preto, SP - Brasil. CEP: 14040-901. E-mail: ferbrando@ffclrp.usp.br
3. Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho - Campus Bauru (FC-UNESP). Av. Luís Edmundo Carrijo Coube, s/n, Vargem Limpa. Bauru, SP - Brasil. CEP: 17033-360. E-mail: anacaldeira@fc.unesp.br

fundamental à didática da biologia; 3) o GPEB como um espaço formativo por meio do qual pôde-se obter dados empíricos acerca de possibilidades de didatização do conhecimento biológico e 4) a proposição de diagramas para representar o percurso conceitual da abordagem integrada da evolução. Assim, um estudo aprofundado sobre as compilações contemporâneas acerca da ECO-EVO-DEVO e da pluralidade de processos que envolvem a evolução biológica, as discussões no GPEB e a elaboração de diagramas decorrentes da organização conceitual engendrada pelos participantes do grupo formam estratégias metodológicas que permitiram exemplificar caracterizações sobre a integração dos níveis biológicos no processo evolutivo. A partir desses artefatos metodológicos, é possível traçar o caminho do processo de desenvolvimento conceitual pelo grupo no que se refere à evolução sobre uma perspectiva integrada.

Palavras chaves: didática da biologia, formação inicial, evolução biológica.

Abstract

Epistemology is an area that allows reflections about nature and construction of knowledge. In what is referred to Biological Sciences, the concept of evolution is understood as unifier axis of this science and therefore should represent the integration of various Biology's areas. An epistemological study of evolution allows us to identify a recent approach of research called ECO-EVO-DEVO, which shows the integration among development, organism and environment in evolutionary process and constitution of phenotypic diversity. We understand that is the ostensible importance that this approach is discussed in the Teacher Training on biological sciences and therefore, intend to investigate means of representation of integrated and pluralistic perspective of biological evolution as a way of "didatizar" this approach and facilitate insertion in the classroom. To accomplish this research, we organized a group of Biology's Epistemology research (GPEB) which were proposed discussions on the biological evolution from that approach. Thus, this article is systematized through three main points: 1) the characteristics of the integrated biological knowledge; 2) epistemology as a fundamental part of the teaching biology; 3) GPEB as a formative space by which one can obtain empirical data about "didatização" possibilities of biological knowledge and 4) the proposition of diagrams to represent the conceptual path of the integrated evolution approach. Thus, a depth study of contemporary compilations about the ECO-EVO-DEVO and the plurality of processes involving biological evolution, GPEB's discussions and the elaboration of diagrams arising from the conceptual organization engendered by group participants form methodological strategies that allowed exemplify characterizations on the integration of biological levels in the evolutionary process. From these methodological artifacts, you can trace the path of conceptual development process by the group in relation to the evolution of an integrated perspective.

Keywords: didactic of biology, teacher training, biological evolution.

Introdução

A evolução biológica é apresentada por muitos autores como o eixo unificador da Biologia e, portanto, é necessário que a explicação desse conteúdo contemple o caráter integrado das Ciências Biológicas. Embora a dimensão genética (mutação, deriva genética, alteração da frequência gênica nas populações) e a seleção natural sejam relevantes para as intercorrências evolutivas, a teoria evolutiva contempla em suas dimensões filosófica, epistemológica e empírica uma perspectiva pluralista, a partir da qual, os níveis ontogenético, genético, organizmático e ecológico são considerados tanto individualmente como a partir das relações permanentes e constantes que exercem uns sobre os outros.

Esse pluralismo irroga a existência de diversos mecanismos operando de modo complementar no processo evolutivo. Não se pode pensar na expressão fenotípica como resultado único dos genes herdados. O ambiente, por exemplo, apresenta um amplo repertório de possibilidades para geração de fenótipos, tais como: a sazonalidade, o tipo de alimentação, a presença de predadores, entre outros.

Essa compilação epistemológica dispôs, a partir da década de 1970, algumas objeções candentes aos pressupostos conceituais consolidados pela Teoria Sintética e engendrou campos de pesquisas referentes ao conhecimento evolutivo cujo conteúdo endossa a ação sincrônica dos fatores biológicos no processo evolutivo: a Evo-Devo e a Eco-Evo-Devo.

O presente estudo pretende fornecer contribuições didáticas e epistemológicas para uma abordagem integrada do conhecimento biológico no que se refere ao conteúdo evolutivo. Tem como objetivos discutir a representação do pensamento biológico referente à evolução, tendo como ferramentas/artefatos metodológicos um Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB) e diagramas representativos que indicam um percurso didático para abordagem desse conceito em cursos de Ciências Biológicas.

Para a explanação da pesquisa, quatro eixos serão tratados: 1) as características do conhecimento

biológico integrado; 2) a epistemologia como parte fundamental da didática da biologia; 3) o GPEB como um espaço formativo por meio do qual pôde-se obter dados empíricos acerca de possibilidades de didatização do conhecimento biológico e 4) a proposição de diagramas para representar o percurso conceitual da abordagem integrada da evolução.

A integração do conhecimento biológico: Por que abordar o processo evolutivo sob uma perspectiva pluralista?

Os estudos referentes à Biologia Evolutiva ainda apreendem uma série de questões empíricas e teóricas pouco descritas ou incompletas que, certamente, incidem no quadro epistemológico e filosófico da Biologia, enveredando um contexto de refutações, debates e diálogos epistêmicos. Essa incompletude, que por ora, reflete em hiatos conceituais, é decorrente, também, da falta de uma abordagem integrada entre as áreas das Ciências Biológicas quando são explicados os processos evolutivos e do avanço da pesquisa empírica que traz incorporações resolutas ao quadro teórico consolidado.

Se, de fato, a Biologia é uma ciência integrada e a evolução o eixo integrador do conhecimento biológico (BIZZO, 1991; CICILLINI, 1997; MEGLIORATTI, 2004), decorre disso que a evolução deva ser compreendida a partir da integração entre diversas áreas tais como: genética de populações, biologia molecular, ecologia, paleontologia, embriologia, entre outras. Muito do que ainda não fora entendido sobre os processos evolutivos reside no estudo das relações entre organismo, gene e ambiente.

Os dados apresentados na pesquisa realizada por OLIVEIRA E CALDEIRA (2013) e OLIVEIRA (2015) mostram considerações relevantes no que se refere a nossa preocupação sobre a Epistemologia da Biologia Evolutiva Contemporânea.

A pesquisa fora realizada em dois contextos distintos: no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da

Biologia (GPEB⁴) e junto a duas turmas de alunos de um curso de licenciatura em Ciências Biológicas de uma universidade estadual paulista que já haviam cursado a disciplina de “Evolução”. Os resultados abarcam as concepções sobre evolução biológica dos alunos, indicando alguns pontos a serem considerados na sistematização deste artigo.

Uma das dificuldades conceituais expostas pelos alunos esteve centrada na concepção de que os organismos estão maximamente “adaptados” aos ambientes desde que estejam se reproduzindo e alimentando-se e, portanto, seriam resultados de uma seleção natural que atuou em um rol máximo de variações. Dentre todas as possibilidades possíveis fenotipicamente, a seleção “escolheria a melhor”, já que o organismo seria capaz de realizar atividades vitais (fundamentais e suficientes para sua sobrevivência) e, portanto, estaria perfeitamente adaptado. Essa constatação pressupõe a existência de concepções equivocadas sobre a relação entre adaptação e nicho ecológico.

Outra relação identificada nas concepções dos alunos foi entre as ideias de adaptação e “economia da natureza”, como uma associação à restrição morfológica da ontogenia devido ao provável gasto energético que esse morfotipo proporcionaria caso fosse concebido. Ou seja, atribuíam a inexistência de alguns fenótipos ao gasto energético que proporcionariam ao indivíduo portador caso fossem viáveis.

Assim, o entendimento da relação organismo/ambiente é fundamental para a compreensão sobre como essa relação atua nos caminhos evolutivos. O papel “ecológico” precisa ser abordado de forma mais integrada aos níveis de organismo e genético, já que, embora pouco tratado na Síntese Moderna, seja bastante mencionado nas argumentações dos alunos e exerce efeitos significativos na origem de alterações e inovações fenotípicas.

A inserção da ecologia, mais especificamente do papel do ambiente nas questões evolutivas, é parte relevante do debate atual sobre a biologia evolutiva. Tanto para o Darwinismo quanto para a Teoria Sintética, o ambiente foi, tradicionalmente, estabelecido como um agente seletor que atua na evolução adaptativa eliminando ou fixando fenótipos (e seus alelos) e, conseqüentemente, moldando uma população segundo as pressões impostas pelas interações bióticas e abióticas entre os organismos e o meio. A ênfase imputada ao papel seletivo do ambiente preferiu, dentro das explicações evolutivas, a ação ambiental exercida durante os processos de desenvolvimento no que é alusivo à indução da variação fenotípica (LOFEU; KOHLSDORF, 2015).

Como argumentado por PIGLIUCCI (2007), há uma lacuna dentro do quadro conceitual da Síntese Moderna sobre a questão ecológica, que é referida “fortuitamente” quando para fomentar a origem e configuração das pressões seletivas.

Considerações acerca do impacto das (re) análises epistemológicas de conceitos específicos são particularmente relevantes quando envolvem teorias que integram diferentes áreas do conhecimento em Biologia, como é o caso da Teoria Evolutiva. Perguntas como “De que maneira o ambiente influencia processos ontogenéticos? ”; “Como mudanças ambientais determinam a origem de novos fenótipos? ” e “Como a evolução da ontogenia afeta o ambiente?” (re) posicionam o papel do ambiente dentro das concepções teóricas da Evolução.

Embora, a Evo-Devo, particularmente, possa contribuir de modo bastante efetivo para o esclarecimento de muitas questões referentes à evolução, para que esse processo seja entendido de forma pluralista e integrada, outros fatores devem, também, ser inseridos nessa releitura. A partir da inserção da Ecologia, mais especificamente do papel do ambiente na geração de novos fenótipos, a Evo-devo

4. Este grupo iniciou suas atividades em novembro de 2006 e é formado por graduandos do curso de Ciências Biológicas, Mestrandos e Doutorandos em Educação para Ciência. Tem sido espaço pertinente ao desenvolvimento de teses de Doutorado (MEGLHIORATTI, 2009; BRANDO, 2010; ANDRADE, 2011; MARICATO, 2012; OLIVEIRA, 2015), além de projetos de iniciação científica. O ponto em comum entre as pesquisas realizadas é a preocupação com a dimensão epistemológica e didática dos conceitos biológicos na formação inicial.

incorporou essa dimensão biológica e, então, uma área denominada Eco-Evo-Devo tem se consolidado e apresenta-se pertinente ao conhecimento atual referente à evolução biológica, além de receber forte suporte empírico nos últimos anos e representar uma articulação processual evidente entre as diferentes dimensões que caracterizam objetos de estudo da Biologia (MÜLLER, 2007).

A Eco-Evo-Devo é uma área de estudo cujo propósito está em explicar a plasticidade característica do genótipo, ou seja, como a ação gênica pode gerar diferentes fenótipos dependendo de quais condições estão presentes no ambiente, permitindo uma mudança na trajetória do desenvolvimento do embrião em decorrência da imposição ambiental (GILBET E EPEL, 2009). SULTAN resumiu o status moderno da Eco-Devo em uma recente revisão:

“Eco-devo” examina como os organismos se desenvolvem em determinados ambientes e objetiva fornecer um quadro integrado para a investigação do desenvolvimento nesses contextos ecológicos. Eco-Devo não é uma simples “reembalagem” dos estudos sobre plasticidade com um novo nome... Enquanto os estudos sobre plasticidade são referentes às análises da genética quantitativa e da seleção fenotípica para examinar os resultados do desenvolvimento e sua evolução como características adaptativas, Eco-Devo inclui um foco explícito nos mecanismos moleculares e celulares da percepção ambiental e da regulação gênica subjacentes a essas respostas e como esses padrões de sinalização operam em indivíduos, populações, comunidades e táxons genética/ ecológica-mente distintos. (2007 p. 575)

Na maioria das interações do desenvolvimento, o genoma fornece instruções específicas, enquanto o ambiente é permissivo. Isto quer dizer que os genes determinam quais estruturas serão produzidas e a única exigência do ambiente é que essa estrutura não perturbe o processo de desenvolvimento (GILBET E EPEL, 2009). Na maioria das espécies, há circunstâncias no desenvolvimento em que o ambiente dita as instruções e o genoma é meramente

permissivo. Nesses casos, o ambiente determina qual tipo de estrutura é feita- mas o repertório genético tem que ser capaz de construir essa estrutura. A habilidade genética de responder aos fatores ambientais tem que ser herdada, claro, mas nesses casos, é o ambiente que direciona a formação do fenótipo específico (GILBET E EPEL, 2009).

A plasticidade fenotípica explica muito bem essa questão. Por exemplo, o comprimento do chifre do macho em algumas espécies de besouros é determinado pela quantidade e pela qualidade do alimento que a larva come antes da metamorfose. O limite superior e inferior da norma de reação também é uma propriedade do genoma que pode ser selecionada. Espera-se que diferentes espécies de besouros sejam diferentes quanto a direção e quantidade de plasticidade que eles são capazes de expressar (GILBET E EPEL, 2009).

Atualmente, há um interesse na plasticidade como uma causa e não apenas como uma consequência da evolução fenotípica. A plasticidade do desenvolvimento, ou plasticidade fenotípica, é tradicionalmente entendida como característica geneticamente determinada em indivíduos, que podem evoluir sob seleção natural ou deriva genética. Nessa perspectiva, a plasticidade seria uma condição que promove, em ambientes variáveis, a evolução adaptativa em comparação aos organismos com fenótipos não plásticos (CESCHIM, OLIVEIRA E CALDEIRA, 2016).

Segundo EHRENREICH E PFENNIG (2015), nas primeiras etapas de processos evolutivos que envolvem plasticidade fenotípica, o sistema sensorial do indivíduo detecta informações sobre seu ambiente externo. Posteriormente, o sinal detectado pelo sistema sensorial é traduzido em uma resposta molecular no nível bioquímico, alterando as atividades dentro das células. No caso de organismos multicelulares, essa informação pode ser transmitida em outros lugares no corpo por meio de sinais mediados por hormônios. E finalmente, nas células, órgãos ou tecidos-alvo haverá uma resposta que altera o fenótipo.

Para PIGLIUCCI, MURREN E SCHLICHTING (2006) a plasticidade é de suma importância, pois

permite a sobrevivência inicial do organismo sob novas condições ambientais. Porém, em condições ambientais pouco variáveis, uma característica anteriormente plástica pode passar por canalização, ou seja, por perda de plasticidade. Por exemplo, a perda de um sítio de ligação para um fator de transcrição condicionalmente ativo pode eliminar a sensibilidade de um gene para o ambiente (EHRENREICH E PFENNIG, 2015).

Em consonância, GILBERT, BOSCH E LEDÓN-RETTIG (2015 pp. 611) apontam para três principais pontos a serem analisados na plasticidade fenotípica: 1) a plasticidade pode fornecer variação fenotípica por meio das quais os animais podem enfrentar desafios ambientais tais como mudanças climáticas; 2) a plasticidade pode facilitar a construção de nicho, processo pelo qual um organismo ativamente altera seu ambiente e 3) a plasticidade do desenvolvimento pode gerar fenótipos ambientalmente induzidos que podem ser assimilados no genoma e passar a se comportar como traço herdável.

O estudo dos genomas notabilizou a ideia de que os mecanismos de expressão e operação gênica não obedecem a critérios herméticos de instruções bioquímicas para fazer células e que a essa operacionalização- a partir da qual haverá ligamento e desligamento de determinadas sequências nucleotídicas- tem grande impacto da produção dos fenótipos dos organismos. Os genomas são verdadeiros “palimpsestos” complexos, resultantes da ação cumulativa de vários processos genéticos, evolutivos e demográficos (JOBLING *et al.*, 2004). São também entidades dinâmicas que evoluem rapidamente ao longo do tempo (LYNCH, 2007). Desde a variação dos nucleotídeos nas sequências do DNA, até à variação da expressão dos genes, da regulação da cromatina, dos padrões de splicing alternativo e de recombinação, e aos (re)arranjos cromossômicos, são muitas as camadas de complexidade dos genomas que dificultam a sua comparação entre espécies (MARQUES-BONET *et al.*, 2009).

FRANCIS (2015 pp. 51) pontua que o ambiente interno da célula é influenciado externamente por outras células do organismo, que podem ser

próximas ou não. O interior da célula também pode sofrer influências de fatores externos ao organismo, como interações sociais. Segundo o autor “um dos motivos pelos quais a guerra e outras formas de trauma têm efeitos psicológicos tão duradouros é a capacidade de desencadear alterações epigenéticas causadoras de mudanças de longo prazo na regulação gênica” (FRANCIS, 2015 p. 52).

O mecanismo epigenético de regulação gênica mais estudado é a metilação (adição de um grupo metila ao DNA), que tem efeito inibidor na expressão do gene. A metilação não é efêmera, pois o grupo metila tende a continuar no DNA mesmo quando replicado antes da divisão celular (FRANCIS, 2015 p. 67) e “quanto mais inicial for o estágio de desenvolvimento em que ocorre a metilação, mais pronunciados e generalizados serão seus efeitos” (FRANCIS, 2015 p. 68).

O autor explica que além da metilação do DNA, as histonas desempenham um papel importante na regulação da expressão gênica, pois em geral, a interação histona-DNA é mais frouxa em regiões de genes de ativa síntese proteica. Diferentes níveis de ligação histona-DNA são viabilizados por alterações bioquímicas na histona, como por exemplo, a metilação que pode bloquear a expressão gênica. Os padrões de metilação de histonas também podem ser transmitidos quando a célula é dividida (FRANCIS, 2015 p. 84-85).

Manter uma etiologia genética na determinação do fenótipo, à custa da complexidade da interação ambiente e desenvolvimento foi crucial para a construção de uma visão unificada da evolução. Foi apenas com essa constrição de fatores ambientais e ontogenéticos que o tratamento matemático foi possível e, então, os geneticistas de populações puderam checar as deduções da genética mendeliana e fazer profecias quantitativas (REINBERG, 2007).

Sozinha, a informação genética contida no núcleo das células não pode, diretamente, produzir a diferenciação dos muitos tipos de células em um organismo multicelular. As células interagem entre si e essa interação revela instruções sobre os modos de diferenciação de cada célula. Os sinais moleculares

chamados de fatores parácrinos são liberados por um conjunto de células e induzem mudanças na expressão genética nas células adjacentes a elas. Essas células adjacentes (ou vizinhas) que adquiriram, recentemente, características próprias, produzem seus próprios fatores parácrinos, os quais podem mudar a expressão genética de sua vizinhança as vezes, incluindo as células que originalmente induziram a mudança nelas mesmas (GILBET E EPEL, 2009).

Essa simultaneidade processual pode ser constatada em vários fenômenos biológicos. O resultado de cada processo é mediado por uma rede complexa e intrincada de relações cuja interdependência não está restrita apenas aos níveis observáveis do fenômeno. Por exemplo, o fenótipo, comumente é associado unicamente à expressão de uma sequência de nucleotídeos do DNA, que só poderia ser alterada por uma mutação. Lê-se uma sequência inalterada por outros fatores, que, após ser transcrita e traduzida sempre originará um produto fixo, pré-determinado. Será mesmo que nossas características são resultado de uma sequência que se expressa da mesma maneira a revelia de qualquer outro fator? Será que esses processos sucessivos de leitura e expressão de uma sequência de bases nitrogenadas viabiliza a transformação daquela massa celular indistinguível e genérica em organismos totalmente distintos; com sistemas e células com funcionalidades tão específicas? Será que todo processo ocorre dentro de um espaço hermético e não pode ser infringido por qualquer outro mecanismo biológico? Ou ainda por fatores abióticos?

A biologia moderna revelou complexidade em vez de simplicidade e mostrou que redes intrincadas de reações químicas impelem a reprodução, a herança, a sensação, o movimento, o pensamento e todas as coisas que a vida faz (RUTHERFORD, 2014).

Para muitos, pode ser uma surpresa descobrir que o ambiente externo afeta os genes, modulando sua atividade. O efeito gênico do ambiente não é direto. As influências ambientais são mediadas por alterações nas células em que os genes residem. Diferentes tipos de células reagem de forma diversa ao mesmo fator

ambiental. Por sua própria natureza e, apesar do fato de os genes de todas as células do corpo serem os mesmos, os efeitos ambientais são sempre específicos para cada tipo de célula. (FRANCIS, 2015 p. 21).

A plasticidade fenotípica, por exemplo, é um mecanismo que possibilita a observação de uma relação explícita entre a variação fenotípica, a seleção natural e interferência ambiental. A plasticidade implica que a seleção pode operar em vários estágios da ontogenia e isso fornece uma chave explicativa para as circunstâncias em que as populações reagem rapidamente às condições de mudanças ambientais (MULLER, 2007).

Devido à ocorrência da plasticidade nas vias do desenvolvimento, um fenótipo variante poderia surgir. Sob essa ótica, novos fenótipos poderiam surgir a partir da variação genética presente na população sem que, necessariamente, um novo alelo com efeitos fenotípicos aparecesse, de modo que o ambiente em que um organismo se desenvolvesse passasse a atuar não apenas como agente seletor da variação existente, mas também como elemento indutor da variação fenotípica. Embora a participação dos fatores ambientais no desenvolvimento não implique, necessariamente, em cenários de surgimento de novos fenótipos ou inovação das vias de desenvolvimento, o ambiente exerce, de fato, um papel efetivo nas diversas fases ontogenéticas dos organismos (LOFEU, KOHLSDORF, 2015).

Essa compilação epistemológica e empírica que analisa as relações e papéis dos genes, dos organismos e do ambiente no processo evolutivo é prove-niente, por exemplo, do avanço das pesquisas na área da Embriologia, as quais forneceram dados significativos referente ao modo de operação da expressão gênica e a maneira por meio da qual esse processo originaria novas formas orgânicas. A existência de um “kit de ferramentas” comum aos organismos distantes filogeneticamente fundou a ideia de que o mais importante para a diversidade não é o conteúdo ou a quantidade de variedade sequencial do kit de ferramentas genéticas de um animal e sim, o modo de operação dessa sequência.

A construção das formas depende da ativação e desativação de determinados genes em diferentes momentos e posições ao longo da embriogênese. Logo, as diferenças na forma também surgem de alterações evolutivas de determinados genes nesses locais e momentos, sobretudo daqueles que afetam o número, o formato ou o tamanho de uma estrutura. As diversas maneiras por meio das quais um gene pode ter sua utilização alterada criam uma enorme variedade nas arquiteturas corporais e na organização de cada estrutura (CARROL, 2006). JABLONKA E LAMB (2010) argumentam que as sequências gênicas operam de formas diferentes dependendo do que é “ligado” e “desligado” ao longo da sequência nucleotídica considerada. A sincronização espaço-temporal e a influência do ambiente (seja externo ou interno) na expressão genica afeta esse padrão de ligamento e desligamento de genes, o que poderá culminar em diferenças morfológicas conspícuas, mesmo quando tratamos de sequências idênticas.

Diferentes animais usam os mesmos genes em tempos e lugares diferentes no desenvolvimento, resultando em formas corporais também distintas. Isso é possível porque cada um dos genes envolvidos no processo de desenvolvimento pode ter vários interruptores diferentes. Isso permite que um mesmo gene seja usado em tempos e lugares distintos, porque conjuntos diferentes de proteínas capazes de acionar ou desligar os genes do desenvolvimento estão presentes em diferentes momentos e em diferentes tecidos em formação. (EL-HANI E MEYER, 2009 p. 3)

Embora, durante muitos anos, o gene fora o elemento central das pesquisas empíricas e entendido como uma parte do DNA capaz de codificar um produto funcional, a ação gênica é resultado, também, da interação e sincronização complexas, dinâmicas e imprevisíveis em espaços e tempos específicos, subjacentes tanto à dimensão ontogenética quanto à ecológica. Essa ideia mantém a centralidade dos processos genéticos na teoria evolutiva, mas apreende uma concepção epistemológica mais ampla e integrada (OLIVEIRA, 2015).

Trata-se de uma reformulação epistemológica na forma de entender o fenômeno biológico, uma vez que uma função não é encontrada em genes particulares, seja no DNA ou no RNA, mas em redes comunicativas, informacionais, encontradas nos sistemas vivos (KELLER, 2005). A expressão gênica é um processo contexto-dependente atrelado a uma sincronização espaço-temporal, que pode resultar em fenótipos bastante distintos, mesmo quando se refere a uma sequência nucleotídica semelhante ou idêntica. A crucialidade da ação gênica está no modo como os genes são usados, na regulação da expressão gênica. É notório o entendimento de que a molécula de DNA e toda perspectiva genética é parte necessária da rede das interações orgânicas, mas não é suficiente para, sozinha, determinar todas as características do organismo ou dos caminhos evolutivos.

É importante que essa complexidade caracterizada pelas contribuições e discussões epistemológicas acerca da integração dos fenômenos biológicos seja conteúdo abordado nos cursos de Formação Inicial por meio de uma didática específica que contemple essas questões. Este trabalho, portanto, sugere alguns diagramas que possam representar o caminho didático-metodológico a ser seguido por um professor que pretenda trabalhar a partir dessa integração.

Nosso anseio é que possamos contribuir para que essas questões defendidas até aqui possam ser discutidas nas salas de aula de formação de professores ou pesquisadores em Ciências Biológicas.

A epistemologia como parte fundamental da didática da biologia

Os objetos de estudo da biologia aparentam ter funcionalidades distintas devido ao distanciamento espacial entre os níveis biológicos (célula/gene; organismo e ambiente). Dificilmente, imaginar-se-ia a intrincada rede processual em que esses níveis estão envolvidos. Fala-se de uma ciência integrada e sistêmica, mas constituída por objetos pertencentes a dimensões (macro ou micro) espaciais tão diferentes

que essa caracterização parece impossível de ser observada, principalmente nas aulas teóricas de Ciências ou Biologia. Esse é o âmago das objeções por ora apresentadas: ao falar-se de uma ciência integrada, precisa-se identificar o que, em termos conceituais, de objetos biológicos, de processos, permitem que a Biologia seja assim caracterizada.

CALDEIRA (2009) aponta alguns questionamentos consonantes à preocupação elencada acima:

Os alunos concluintes do curso de graduação em Ciências Biológicas que anseiam a pesquisa e/ou ensino como atividade profissional, apreenderam o processo de construção epistemológica da Biologia? São capazes de entender como essa ciência é constituída e como evolui conceitualmente? Exemplificam e versam sobre os obstáculos epistemológicos historicamente superados? Conseguem descrever a natureza desse conhecimento? (p.74)

Essas perguntas são parte da reflexão acerca da estrutura dos cursos de Ciências Biológicas, mais especificamente sobre as áreas da Didática e Epistemologia da Biologia e de quais habilidades do pensar os alunos precisam adquirir para possibilitar uma atuação reflexiva em suas profissões. A Didática e a Epistemologia apresentam-se como áreas de pesquisas potenciais para investigar sobre como determinadas habilidades cognitivas podem ser trabalhadas para que a Formação Inicial apresente consistência conceitual e metodológica (CALDEIRA, 2009).

Para que o estudante de Ciências Biológicas aprenda a área de conhecimento biológico, é preciso do entendimento que “a Ciência é tanto uma atividade (aquilo que os cientistas fazem) quanto um corpo de conhecimento (aquilo que os cientistas sabem)” (MAYR, 2008 p. 48). Esse entendimento nem sempre acontece facilmente já que os cursos de graduação abordam o que DUSCHL (2007) denominou de forma final da ciência, ou seja, as disciplinas das áreas biológicas têm como pressupostos científicos o que, atualmente, os pesquisadores de Botânica, Zoologia, Citologia, Fisiologia, Ecologia,

entre outros, aceitam para definir seus objetos de estudo (CALDEIRA, 2009).

CHEVALLARD (1991) considera a transposição didática como o trabalho de transformar um objeto de saber em um objeto de ensino. O processo de transposição didática é necessário uma vez que a estrutura e o funcionamento do saber educacional são diferentes da estrutura e funcionamento do saber acadêmico. Um saber a ser ensinado deve, portanto, passar por alterações que o transformem em objeto de ensino. Tais transformações são necessárias para que esse elemento do saber possa ser ensinado (FRANZOLIN, 2007).

FORQUIN (1992) considera que a educação escolar não realiza uma seleção de saberes e materiais culturais disponíveis em um determinado momento na sociedade. Para torná-los mais acessíveis e disponíveis para as novas gerações, seria necessária a realização de um trabalho de reorganização, reestruturação. A ciência produzida nas áreas científicas específicas (por exemplo, a pesquisa em evolução, em genética, em biologia molecular) não é diretamente comunicável ao aluno, mas necessita da intervenção de dispositivos mediadores (FRANZOLIN, 2007).

O conhecimento científico tal como é produzido está subordinado a processos de mediação didática. Essa mediação pode ser realizada, por exemplo, a partir de textos didáticos. Dessa necessária didatização originam-se os traços morfológicos e estilísticos característicos dos saberes escolares, como a predominância de valores de apresentação e clarificação, a preocupação da progressividade, a importância atribuída à divisão formal, os comentários explicativos, entre outros (FRANZOLIN, 2007).

GIL PÉREZ (1993) relata sobre a necessária aproximação das atividades de aprendizagem de conhecimentos científicos à maneira a partir da qual esses conhecimentos são produzidos e/ou construídos, fundamentada, principalmente, na compreensão da natureza da ciência e em uma sólida formação teórica. Essa formação sólida dentro de um campo científico específico pode ocorrer por meio da relação entre os pressupostos epistemológicos de um

conceito e seus aspectos práticos; articulação que pode ser consolidada pela inserção do indivíduo em grupos de pesquisas.

MALDANER (2004) argumenta, a partir de uma análise em grupos de pesquisa formados por alunos de graduação e professores em exercício cujo objetivo fora a integração de conteúdos que o acompanhamento das atividades deixa evidente que o perfil representado pelo grupo vai delineando peculiaridades “preocupações específicas, necessidades de formação, saberes e compreensões” (MALDANER, 2004 p. 8) sobre as problemáticas propostas, além da criação de uma autonomia de pesquisa. Ou seja, propiciam que os participantes formem-se como pesquisadores/ professores.

A formação de grupos de pesquisa com alunos de graduação e professores em atuação em cursos de Formação Inicial já apresenta resultados significativos na formação de profissionais da área de ensino. As discussões propostas nos grupos devem contemplar tanto a formação didática e conceitual dos alunos, quanto à sondagem como pesquisador. A maioria dos alunos de cursos de Ciências Biológicas, mesmo em cursos de Licenciatura, não sabem como as áreas de Filosofia, Epistemologia e Didática podem apresentar questões potenciais para pesquisa e colaborar com o Ensino de Biologia e com o desenvolvimento do corpo teórico de uma ciência.

As disciplinas que compõem a grade curricular dos cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas cumprem a função de apresentar os domínios do conhecimento Biológico e de permitirem que os alunos conheçam o nível de especialização alcançado em cada área específica. No entanto, esse trabalho disciplinar não garante, na maioria das vezes, que os alunos adquiram um nível satisfatório de organização de pensamento. (CALDEIRA, 2009 p. 83)

Na formação básica, os alunos, dificilmente, são incentivados a questionar, discutir e problematizar por meio do conhecimento biológico. Encontram-se, em muitas escolas, projetos de estudos sobre temas biológicos ligados às questões sociais. No entanto,

esses projetos não são ou necessariamente configuram espaços de reflexão discente e, na maioria das vezes, os alunos estabelecem ligações superficiais entre conceitos biológicos e os determinantes socio-políticos, econômicos ou éticos (CALDEIRA, 2009).

A disciplina de Didática poderia ser organizada de maneira a fornecer esse espaço. No entanto, em cursos de Ciências Biológicas voltados à formação de professor, a Didática das Ciências é uma disciplina que nem sempre contribui para a prática docente, uma vez que a aprendizagem da docência ocorrerá por meio da prática (LIPPE E BASTOS, 2008). Pode-se inferir que essa ideia está ligada a “uma concepção empirista do fazer científico, bem como à percepção cotidiana do trabalho do professor como algo que se dá centrado em sua própria atuação” (CALDEIRA E BASTOS, 2009).

Ainda sobre a Didática, um problema apresentado pelos professores que ministram essa disciplina está relacionado à seleção de textos que permitam ao futuro professor uma compreensão adequada desse campo específico do conhecimento. Isso pode ocorrer devido à grande parte da literatura, disponível ao graduando nas bibliotecas das universidades, ser constituída por materiais cujo conteúdo enfatiza os temas gerais de educação (sem referência aos conteúdos de ensino), ou conhecimentos em determinadas áreas das Ciências Naturais (Zoologia, Genética, Bioquímica, Geologia). O conteúdo dos textos pouco contribui para que os alunos construam uma articulação desejável entre as áreas do conhecimento em questão, Educação e Biologia (CALDEIRA E BASTOS, 2009).

Essas reflexões interceptam a ideia de uma Didática das Ciências constituída por três objetos distintos: os atributos do professor, o processo de transposição/didatização do conhecimento e a natureza da ciência. Este último passa a ser conteúdo fundamental ao embasamento de uma estratégia didática efetiva. Embora as diferentes ciências apresentem características epistemológicas comuns, cada qual, tem peculiaridades epistemológicas relevantes na estrutura do conhecimento e na sua consequente abordagem.

A Epistemologia surge como um elemento que aborda uma visão contextualizada da produção dos conceitos, a qual nos permite situar alguns pressupostos didáticos. No caso da evolução biológica, a Epistemologia passa a ser um subsídio fundamental já que algumas questões foram retomadas no contexto evolutivo. A partir de um percurso epistêmico, pode-se transitar entre os contextos de produção do conhecimento, investigando quais questões foram fulcrais em todo cenário da evolução biológica, o que é mantido e refutado enquanto teoria e/ou paradigma e como fazer uma prospecção para que esse tipo de abordagem seja inserido na Formação Inicial.

A Epistemologia, portanto, no que se concerne ao potencial didático, pode ser um subsídio para o trânsito entre diferentes contextos históricos da produção do conhecimento científico, auxiliando na compreensão do processo gradativo da construção das teorias das Ciências Biológicas.

Entendemos que trabalhar com esta abordagem histórica no ensino de Biologia não significa demonstrar uma filiação contínua na construção do conhecimento, pois as teorias atuais não são necessariamente decorrentes das anteriores. Acreditamos que uma abordagem histórica deveria centrar-se nas rupturas ou (re) ordenações epistemológicas. (CARNEIRO E GASTAL, 2005 p. 101)

Apesar da existência de um consenso quanto à relevante e necessária abordagem histórica e filosófica dos conteúdos da Biologia, há carência de estudos que possibilitem uma avaliação sobre se e como essas perspectivas são efetivamente trabalhadas em sala de aula, e, em quais contextos isso é realizado (CARNEIRO E GASTAL, 2005).

Não basta salientar a necessidade de adoção de uma perspectiva histórica e epistemológica no ensino de Biologia sem a descrição de artefatos e possibilidades para exequibilidade dessa proposta. Essa reflexão está associada a um esforço concentrado na produção de materiais curriculares que possam fornecer aos professores indicadores a respeito de como trabalhar esta abordagem em suas aulas (CARNEIRO E GASTAL, 2005).

A abordagem da Biologia Evolutiva e as Contribuições do GPEB

O Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB) teve como objetivo a construção de um espaço de discussão em que os conteúdos biológicos- especificamente a evolução biológica e seu potencial transversal e integrador pudessem ser discutidos de acordo com todo referencial epistemológico e didático apresentado, de maneira que os alunos fizessem articulação entre o conceito e o ensino desse conceito.

Os dados considerados neste estudo são referentes às atividades realizadas pelo GPEB durante o segundo semestre de 2012. Participaram das reuniões desse grupo, alunos do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas e doutorandos de um Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência.

Para iniciar as discussões, os textos selecionados foram enviados por e-mail aos participantes na semana que antecedia o encontro. Os textos foram capítulos dos livros “Evolução, o sentido da Biologia” de MEYER E EL-HANI (2005) e “A Tripla Hélice” de LEWONTIN (2002), além do artigo “Um exame histórico filosófico da biologia evolutiva do desenvolvimento” (ALMEIDA E EL HANI, 2010) e trechos específicos do livro “Biologia Evolutiva” (FUTUYMA, 1993). A escolha de textos e questionamentos foi realizada de modo a propiciar discussões cujo conteúdo fosse relacionado à problematização das relações entre gene, organismo e ambiente.

O assunto selecionado para o desenvolvimento deste trabalho foi a evolução biológica sob a perspectiva já descrita. Para organizar as discussões, estabeleceu-se um eixo central sob o qual, toda problematização seria desenvolvida. Esse eixo precisaria contemplar os principais elementos reiterados no referencial teórico do trabalho: a história e epistemologia da Biologia, a natureza da Biologia e ter potencial para ser explorado didaticamente. Dessa forma, pensou-se em um eixo que fora preocupação constante e pungente em diferentes contextos evolutivos: no Darwinismo, na Teoria Sintética e na Biologia Evolutiva Contemporânea. Mesmo que

explicado a partir de argumentos distintos, mais ou menos elaborados, ancorado em mais ou menos detalhes empíricos, esse eixo deveria apresentar a possibilidade de um trânsito teórico por esses contextos, expondo as problematizações e ideias vinculadas sem, contudo, desprestigiar nenhum deles. Em relação ao potencial didático, esse eixo nortearia a elaboração de diagramas cujo conteúdo representaria as ideias conceituais construídas pelos participantes do GPEB.

Com base nos pressupostos acima, o eixo de organização do percurso teórico que norteou o desenvolvimento do GPEB foi a *diversidade de formas orgânicas*.

A partir desta escolha, algumas questões de problematização foram então derivadas:

1. Quais os mecanismos são responsáveis pela origem de tamanha diversidade?
2. Existem mecanismos distintos para cada forma orgânica inédita que é originada? Por exemplo, para cada forma orgânica distinta, faz-se necessário a existência de uma sequência de nucleotídeos diferente?
3. A evolução gera qualquer/ todo tipo de variedade orgânica? (Considerando que algumas já foram extintas).
4. A seleção natural “cria” toda essa variedade?
5. Existe diferença entre criações graduais (alterações nas frequências gênicas das populações ao longo do tempo evolutivo) e criações repentinas? (Uma forma orgânica que fora criada a partir de mecanismos existentes e que independem do gradualismo?).
6. Qual o sentido atribuído ao verbo “forjar” no título do livro de *Sean Carroll* (2006)? Por que o autor fez o uso dessa palavra ao referir-se “a grande quantidade de criaturas que habitam nosso planeta”?

Pensar na ubiquidade de formas orgânicas existentes foi o início das inquietações, uma vez que, em um primeiro momento, pareceria inviável existirem tantos processos distintos quanto formas orgânicas.

E, então, como essas “infinitas formas de grande beleza” (CARROL, 2006) poderiam, realmente, ter se originado?

As reuniões do GPEB foram realizadas semanalmente durante aproximadamente duas horas. Todas as reuniões- um total de 8- foram gravadas em áudio e posteriormente transcritas para discussão e análise dos dados.

A partir desses dados, investigaram-se apontamentos/e ou inferências que pudessem nortear uma contextualização didática do conceito de evolução biológica nos cursos de Formação Inicial. A partir das transcrições, pode-se diagnosticar como os alunos entendem essas mudanças conceituais e as dificuldades cooptadas de suas falas e explicações conceituais.

Uma das formas encontradas para representar as concepções e dificuldades existentes no GPEB foi a construção de diagramas. Esses diagramas foram construídos com base na fala dos participantes do grupo e nas respostas de um questionário aplicado na última reunião. Neste trabalho, apresentaremos algumas falas que justificam a ordem conceitual e a caracterização dos diagramas construídos.

Os Diagramas como Representação do Pensamento Evolutivo

Neste trabalho, serão apresentados três diagramas. Por meio da intervenção realizada no GBEP, foi possível construir diagramas fundamentados em dois aspectos: o fenômeno biológico e o caminho de construção do conhecimento (percurso teórico-conceitual) dos participantes do grupo ao longo das discussões propostas.

A articulação entre a Didática e a Epistemologia deve pautar-se em uma reflexão sobre a própria constituição teórica e empírica da Biologia. Que elementos são característicos da Biologia e dos conceitos biológicos e como essa caracterização pode ser tratada na sala de aula? Como a natureza da ciência interfere nas configurações didáticas dessa disciplina?

Esse trabalho fará uso dos diagramas para representar a complexidade do conceito de evolução biológica quando entendido e didatizado a partir de um viés teórico-epistemológico pluralista e integrado.

É oportuno ressaltar que, nos três diagramas, os vértices do triângulo correspondem aos mesmos conceitos respectivamente: genótipo (potencialidade); formas orgânicas existentes (confronto) e organismos adaptados (continuidade do processo). No entanto, o ponto fundamental de significação e compreensão das relações subjacentes aos diagramas está nos processos que ligam esses conceitos e que se apresentam de forma diferente em cada diagrama.

No primeiro diagrama, o primeiro vértice é representado pelo genótipo, onde reside a potencialidade para a origem das formas orgânicas. No entanto, nem todo genótipo é expresso na forma de um produto funcional e/ou fenotípico. Para o grupo, essa afirmação é lastreada no fato de que alguns genes não são expressos e outros têm sua expressão alterada pela ocorrência de mutações. Assim, em um primeiro momento, apenas esses dois fatores são apontados como agentes de mediação entre a expressão gênica e as formas orgânicas existentes. O segundo vértice é representado pelas formas orgânicas existentes, já que há um confronto entre todo potencial apresentado pelo genótipo e o que é, de fato, expresso. Esse confronto- mediado nesse primeiro momento pelas mutações e por genes não codificantes- resulta nas formas orgânicas. O terceiro vértice é representado pelo organismo adaptado, uma vez que nem todas as formas orgânicas são mantidas na população. Um organismo, mesmo adaptado, sofre diferentes e diversas pressões seletivas, uma vez que a evolução “percorre um alvo móvel”. Assim, não há como prever o padrão de herança genética que será herdado pelos organismos e propiciar a existência de um novo (ou não) genótipo que volta a gerar uma nova (ou não) potencialidade para o ciclo evolutivo. Nesse primeiro diagrama a herança mencionada pelo grupo está alicerçada apenas na bagagem genética. Com base no diagrama, pode-se dizer que, em um primeiro momento, as representações do GPEB estão, forte e

explicitamente, arraigadas na perspectiva molecular e/ou genética.

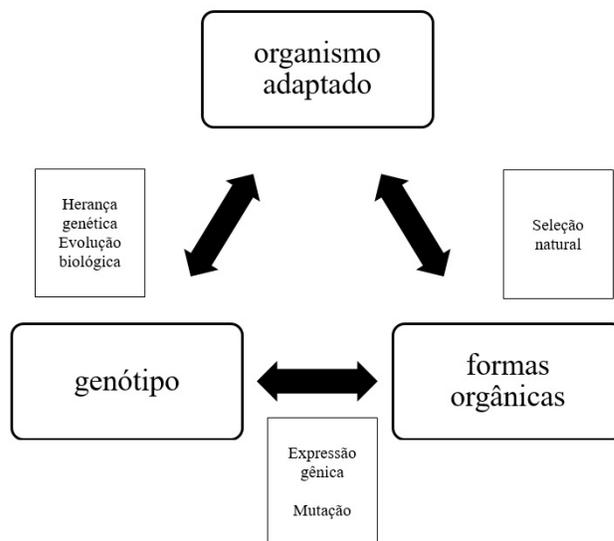


Figura 1. Perspectiva Genética.

Fonte: Elaborado pelas autoras

Algumas falas justificam a tendência inicial dos alunos em explicar os fenômenos biológicos com base em conceitos da genética e seleção natural. Por exemplo, como apresentado no quadro abaixo:

Quadro 1: Trechos das transcrições das reuniões realizadas pelo GPEB.

| | |
|----|--|
| A1 | “a seleção natural é o principal mecanismo evolutivo que leva em conta a adaptação da espécie em ambiente inóspito além de agregar a população “bons genes”; |
| A2 | “a seleção natural é entendida como principal evento que propicia a ocorrência do fenômeno evolutivo”; |
| A3 | “A mutação e a deriva genética podem influenciar o percurso evolutivo”; |

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Para compreender o conceito de evolução biológica, faz-se necessário que entendamos uma série de conceitos associados a ele, sendo um deles o conceito de seleção natural. Precisamos pensar em outros fatores como acaso, deriva genética, entre outros. Assim, a seleção natural não explica todos os eventos evolutivos, como também não deve ser pensada apenas como a sobrevivência do mais apto (ALMEIDA E EL-HANI, 2010).

No segundo diagrama, além da mutação, acrescenta-se o desenvolvimento ontogenético como processo que interfere entre o genótipo e as formas orgânicas existentes. Assim, a expressão fenotípica está mediada não só pela mutação, mas também, pela ontogenia. A ontogenia também aparece como um processo que intervém entre o organismo adaptado e o genótipo. Assim, além da herança genética, fala-se sobre a herança de um padrão de desenvolvimento. Nesse segundo diagrama, a concepção sobre o processo de evolução biológica passa a contemplar duas perspectivas: a genética e a ontogenética.

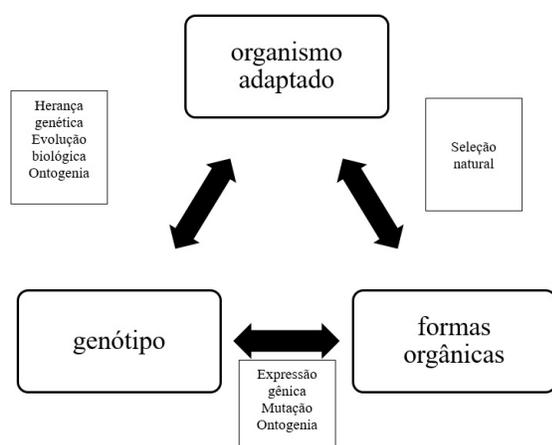


Figura 2. Perspectiva Genética + Ontogenética.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Essa ideia pode ser exemplificada a partir das seguintes falas organizadas no quadro abaixo:

Quadro 2: Trechos das transcrições das reuniões realizadas pelo GPEB.

| | |
|----|---|
| A2 | <i>“Eu acredito que conceitos como interações, meios (com relação ao indivíduo), mudanças, mutação, genética (variabilidade, herdabilidade), aptidão e desenvolvimento são imprescindíveis para se trabalhar/ensinar o processo de evolução biológica”;</i> |
| A1 | <i>“[...] devido a interações que ocorrem dentro dos organismos, dos organismos entre si e dos organismos com relação ao meio em que vivem, a seleção natural seria o conjunto das mudanças [...]”</i> |
| A3 | <i>“[...] Discussões recentes têm levantado dúvidas se a seleção natural explicaria a evolução por completo. Dentre essas discussões está a que coloca o desenvolvimento como influenciador do rumo da evolução”.</i> |

Fonte: Elaborado pelas autoras.

O terceiro diagrama, sistematizado pelas discussões oriundas do fechamento das atividades do GPEB, inclui o ambiente e a perspectiva ecológica. O ambiente está presente entre o genótipo (potencial) e as formas orgânicas (confronto) como um elemento que pode interferir na expressão gênica (por isso o confronto). A seleção natural está presente no terceiro diagrama junto ao conceito de nicho ecológico, ambos entre as formas orgânicas e o organismo adaptado. Assim, as pressões seletivas estão associadas com as caracterizações do nicho ecológico de cada espécie. Entre o organismo adaptado e o genótipo, além da herança genética e do desenvolvimento, a herança ecológica está presente, exemplificando a integração do processo evolutivo.



Figura 3. Perspectiva Genética + Ontogenética + Ecológica.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

O último diagrama representa, também, o resultado alcançado pelas reuniões do GPEB e como os alunos passaram a entender e explicar a evolução biológica. Seguem, no quadro abaixo as falas que representam a concepção integrada alcançada pela maior parte dos integrantes do GPEB:

Quadro 3: Trechos das transcrições das reuniões realizadas pelo GPEB.

| | |
|----|--|
| A1 | <i>“A seleção natural é um dos mecanismos que atuam sobre uma variabilidade resultante de mutações, plasticidade, processos do desenvolvimento, e de fatores ambientais”.</i> |
| A2 | <i>“A seleção natural esta inserida dentro do contexto de evolução biológica na sua qualidade de adaptação, especiação e extinção, porém, para uma compreensão em sua totalidade, outros contextos também se inserem como o desenvolvimento embrionário, a plasticidade fenotípica, a herdabilidade, as mutações, o acaso”;</i> |
| A3 | <i>“Sem dúvida a seleção natural é a peça chave no ensino de evolução. Contudo conforme forem avançando os estudos novos conceitos devem ser ensinados, como os mecanismos de adaptação dos diversos organismos, reprodução, mutações e, até mesmo, conceitos mais complexos como construção do nicho, epigenética e evo-devo”;</i> |
| A4 | <i>“Além da seleção natural, deveríamos ensinar deriva genética, mutações, relações entre o desenvolvimento dos organismos e evolução, influências ambientais, especiação, além do papel do acaso”;</i> |
| A5 | <i>“O papel do acaso em relação ao processo evolutivo pode ser exemplificado com o caso do surgimento dos seres pluricelulares (seres pluricelulares+caderina+cálcio), que a meu ver, exemplifica muito bem esse papel do acaso. Aproveitando-se ainda desse exemplo, explicaria as influências do ambiente no processo (fatores epigenéticos), além de tratar de alguns conceitos importantes no contexto, como as mudanças que podem ocorrer devido a mutação bem como do papel do desenvolvimento dos organismos, muitas vezes restringindo as possibilidades de atuação da seleção natural. Resumindo, explicaria evolução à partir da perspectiva ECO-EVO-DEVO, que ao meu ver, abarcaria e conseguiria explicar muitos casos estudados pela evolução. Penso que é interessante em um primeiro momento contextualizar as relações/interações que ocorrem nos organismos e dos organismos entre si e com o meio. Posteriormente trabalhar conceitos dentro da genética, depois disso relacionar esses conceitos com desenvolvimento e aptidão e por último tentar ajudar na formação de um pensamento integrado da evolução como sendo o conjunto das mudanças que ocorrem e estão condicionadas a esses fatores”.</i> |

Fonte: Elaborado pelas autoras.

A partir dos três diagramas explicitados, é possível identificar como a compreensão conceitual dos participantes do GPEB modifica-se na medida em que discussões sobre a biologia evolutiva contemporânea são propostas. Pode ser um indicativo à proposição de um caminho didático para que as concepções sejam apreendidas de forma gradual, até que a perspectiva sistêmica seja apreendida.

É relevante destacar a importância sobre a atualização do conhecimento do contexto de Ensino de Biologia na Formação Inicial uma vez que os conteúdos abordados nas salas de aula não deveriam estar restritos à transposição aos livros didáticos. A leitura de artigos e de publicações estrangeiras é subsídio fundamental para que o professor possa buscar novos exemplos, compilações epistêmicas, desafios, suscitando novas dúvidas, indagações e colaborando com a formação de um professor e pesquisador cujo processo de formação permitiu um entendimento sobre a natureza do conhecimento biológico e suas vicissitudes.

A Biologia é uma ciência sistêmica e integrada e assume-se uma preocupação ostensiva sobre como essas caracterizações podem atingir as abordagens teóricas nos cursos de formação inicial em Ciências Biológicas. Assim, as discussões no GPEB e a elaboração de diagramas decorrentes da organização conceitual engendrada pelos participantes do grupo formam estratégias metodológicas que permitiram exemplificar essas caracterizações. A partir desses artefatos metodológicos, é possível traçar o caminho do processo de desenvolvimento conceitual pelo grupo no que se refere à evolução sobre uma perspectiva integrada.

Considerações Finais

A revelia das resolutas injunções epistemológicas dirigidas ao conceito de evolução e da necessária abordagem pluralista desse conceito, o ensino de evolução ainda está respaldado em premissas que destacam os conceitos restritos à dimensão genética e a seleção natural. O corolário dessa afirmação

incide em uma concepção reducionista do processo evolutivo, a qual prescinde as interações resguardadas entre gene-organismo e ambiente e contribui para endossar um entendimento compartimentalizado acerca das diferentes dimensões teóricas.

Este artigo teve como objetivo articular duas questões fundamentais quando pensamos no Ensino de Biologia: realizar uma compilação teórico-epistemológica de contra-argumentos à concepção de uma Biologia de níveis hierárquicos incomunicáveis tanto em termos processuais quanto em abordagens teórico-práticas e possibilidades de visualização da natureza integrada da Biologia tanto a partir de exemplos teóricos como de possibilidades de inserções didáticas na Formação Inicial a partir da representação do pensamento dos alunos sobre essas questões.

Na tentativa de equalizar a participação dos níveis biológicos no processo evolutivo e por meio de um estudo teórico-epistemológico detalhado sobre as teorias evolutivas, investigou-se possibilidades acerca da didatização dessa perspectiva pluralista a partir de um estudo realizado no GPEB. Para tanto, foram construídos diagramas que representam o caminho conceitual apresentado pelos participantes do grupo ao longo das reuniões.

Os diagramas obtidos por meio dessa análise puderam fornecer dados referentes a duas questões, a saber: 1) a metanálise do processo de evolução conceitual desenvolvimento e apresentado pelos participantes do GPEB (como os participantes do grupo conceberam a integração das dimensões biológicas ao processo evolutivo e uma forma de representação desse percurso) e 2) indicativos sobre reflexões e caminhos metodológicos referentes ao trabalho didático e pedagógico do professor (uma vez que a representação da evolução conceitual dos participantes pode ser o ponto de partida para organização de uma aula cujo objetivo seja a abordagem integrada do processo evolutivo).

Assim, ao se pensar nas potencialidades representativas desses diagramas, esses instrumentos podem fornecer uma provável articulação- mesmo que incipiente- entre a Epistemologia e a Didática

da Biologia. Essa articulação é dada pela relação entre a integração do conhecimento biológico, a forma que essa integração é demonstrada na representação dos participantes do grupo e as possibilidades de abordagem do conteúdo em sala de aula, considerando a lógica representada pelos diagramas.

O trabalho de investigação sobre a didatização do conhecimento biológico e sobre estratégias de articulação entre Epistemologia e Didática pôde ser realizado no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia já que a sistematização das atividades realizadas contribui para: discussões e entendimento sobre a integração de diferentes níveis em um processo biológico; a inserção de graduandos em um contexto de pesquisa científica que não é comumente abordado nos cursos de Ciências Biológicas e que não está relacionada com a visão tradicional de cientista; fornecer elementos à estruturação de textos didáticos sobre conteúdos biológicos que considerem aspectos da natureza da ciência do conhecimento biológico.

Referências

- ALMEIDA, A. M. R. D.; EL-HANI, C. N. Um exame histórico-filosófico da biologia evolutiva do desenvolvimento. *Scientiae Studia*, v. 8, n. 1, pp. 9-10. 2010.
- ANDRADE, M. A. B. S. D. **A epistemologia da biologia na formação de pesquisadores: compreensão sistêmica de fenômenos moleculares**. 237. Tese, Doutorado em Educação para Ciências, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.
- BIZZO, N. M. V. **Ensino de evolução e história do darwinismo**. 575. Tese, Doutorado em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1991.
- CALDEIRA, A.M.A; BASTOS, F. A Didática como área do conhecimento. In: CALDEIRA, A.M.A; ARAÚJO, E.S.N.N. (Org.). **Introdução à Didática da Biologia**. Escrituras. São Paulo: Brasil, 2009. pp. 13-33.

- CARNEIRO, M. H. D. S.; GASTAL, M. L. História e Filosofia das Ciências no ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, pp. 33-39. 2005.
- CARROLL, S. B. **Infinitas formas de grande beleza: como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o planeta?** Zahar: Rio de Janeiro, 2006.
- CESCHIM, B.; DE OLIVEIRA, T. B.; DE ANDRADE CALDEIRA, A. M. Teoria Sintética e Síntese Estendida: uma discussão epistemológica sobre articulações e afastamentos entre essas teoria. **Filosofia e História da Biologia**, v. 11, n. 1, pp. 1-29. 2016.
- CICILLINI, G. A. A produção do conhecimento biológico no contexto da cultura escolar do ensino médio: a teoria da evolução como exemplo. 283. Tese, Doutorado em Educação, Universidade Estadual de Campinas, campus de Campinas, São Paulo, 1997.
- EHRENREICH, IAN M.; DAVID W. PFENNIG. Genetic assimilation: a review of its potential proximate causes and evolutionary consequences. **Annals of botany**, v. 117, n. 5, pp. 769-779. 2016.
- EL-HANI, C. N.; MEYER, D. A evolução da teoria darwiniana. **ComCiência**, n. 107, s. p., 2009.
- FORQUIN, J. C. Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais. **Teoria e Educação**, Porto Alegre, n. 5, pp. 28-49. 1992.
- FRANCIS, R. **Epigenética: como a ciência está revolucionando o que sabemos sobre hereditariedade**. Rio de Janeiro: Zahar, 2015.
- FRANZOLIN, F. Conceitos de Biologia na educação básica e na academia: aproximações e distanciamentos. **Maestría em Educação**. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- GIL PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, pp. 197-212. 1993.
- GILBERT, S. F.; EPEL, D. **Ecological developmental biology**. Sinauer Associates. Sunderland: Estados Unidos, 2009.
- GILBERT, S. F.; BOSCH, T. C.; LEDÓN-RETTIG, C. Eco-Evo-Devo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents. **Nature Reviews Genetics**, v. 16, n. 10, pp. 611-622. 2015.
- JABLONKA, E.; LAMB, M. J. **Evolução em Quatro Dimensões - DNA, Comportamento e a História de Vida**. Companhia de Letras. São Paulo: Brasil, 2010.
- JOBLING, M.; HURLES, M.; TYLER-SMITH, C. **Human evolutionary genetics: origins, peoples & disease**. Garland Science. Nueva York: Estados Unidos, 2013.
- KELLER, E. F. The Century beyond the Gene. **Journal of Biosciences**, v. 30, n. 1, pp. 3-10. 2005.
- LALAND, K. N.; ODLING-SMEE, J.; GILBERT, S. F. EvoDevo and niche construction: building bridges. **Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution**, v. 310, n.7, pp. 549-566. 2008.
- LIPPE, E.M.O.; BASTOS, F. Formação Inicial de professores de Biologia: fatores que influenciam o interesse pela carreira do magistério. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, Florianópolis. Atas. Belo Horizonte, ABRAPEC. 2007.
- LOFEU, L.; KOHLSDORF, T. Mais que seleção. **Genética na Escola**, v. 10, n. 1, pp. 11-19. 2015.
- LYNCH, M.; WALSH, B. **LYNCH. The origins of genome architecture**. Sunderland: Sinauer Associates, 2007.
- MALDANER, O. A. Produção coletiva e inovação curricular como mediação da formação continuada de professores In: V SEMINÁRIO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO DA REGIÃO SUL – ANPED Sul, 2004, Curitiba. Anais do V Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul – ANPED Sul. Curitiba: PUCPR, p. 1-13. 2004.
- MARICATO, F. E. A (re) construção coletiva do conceito de interação biológica: contribuição para a epistemologia da Biologia e a formação de pesquisadores e professores. 222. Tese, Doutorado em Educação para Ciência, Faculdade de Ciências de Bauru, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2012.

- MARQUES-BONET, T.; RYDER, O. A.; EICHLER, E. Sequencing primate genomes: what have we learned? **Annual review of genomics and human genetics**, n. 10, pp. 355-386. 2009.
- MAYR, E. **Isto é biologia: a ciência do mundo vivo**. Companhia de Letras. São Paulo. 2011.
- MEGLHIORATTI, F. A. História da construção do conceito de evolução biológica: possibilidades de uma percepção dinâmica da ciência pelos professores de Biologia. Mestría Em Ensino de Ciências e Matemática, Faculdade De Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, 2004.
- Müller, G. B. Evo-devo: extending the evolutionary synthesis. **Nature Reviews Genetics**, v. 8, n. 12, pp. 943-949. 2007.
- OLIVEIRA, T. B. D. Uma pesquisa didático-epistemológica na formação inicial em ciências biológicas: como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta? 209. Doutorado em Educação para Ciência, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus Bauru, São Paulo, 2015.
- OLIVEIRA, T. B.; CALDEIRA, A. M. A. Organismos adaptados, seleção natural e restrições do desenvolvimento: Uma discussão epistemológica acerca das relações entre esses conceitos em um Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB). In: **Caderno de Resumos do Encontro de História e Filosofia da Biologia**. ABFHIB. Florianópolis: Brasil, 2013. pp. 214-219.
- PIGLIUCCI, M. Do we need an extended evolutionary synthesis? **Evolution**, v. 61, n. 12, pp. 2743-2749. 2007.
- PIGLIUCCI, M., MURREN, C. J., SCHLICHTING, C. D. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. **Journal of Experimental Biology**, v. 209, n. 12, pp. 2362-2367. 2006.
- RUHERFORD, A. **Criação: a origem da vida**. Zahar. Rio de Janeiro: Brasil, 2014.
- SULTAN, S. E. Development in context: the timely emergence of eco-devo. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 11, pp. 575-582. 2007.

