

## ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: EIXOS ORGANIZADORES PARA SEQUÊNCIAS DE ENSINO DE BIOLOGIA

Sílvia L. Frateschi Trivelato\*

Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

Sandra M. Rudella Tonidandel\*\*

Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

**RESUMO:** Pretendemos discutir algumas das peculiaridades da biologia e, na perspectiva da alfabetização científica e das práticas argumentativas, propor elementos estruturantes para a composição de sequências de ensino de biologia baseadas em investigação. Buscamos descrever algumas características dos conhecimentos em biologia que distinguem essa de outras ciências da natureza; para isso, nos valem basicamente das ideias de Mayr (2005). Além disso, apresentamos a discussão sobre como tais características próprias da biologia podem interferir na organização do ensino dessa disciplina. Incluímos uma breve revisão de como tem se caracterizado, na literatura, o ensino por investigação, com o propósito de refletir sobre a adequação dessa tendência ao ensino de temas da biologia. Desenvolvemos uma discussão sobre a apropriação de práticas associadas à produção, à comunicação e à avaliação do conhecimento e à construção de argumentos na tentativa de valorizar a integração de tais práticas à educação científica. Por fim, propomos eixos organizadores para sequências de ensino de biologia por investigação.

**Palavras-chave:** Ensino de biologia. Ensino por investigação. Argumentação.

\*Doutora em Didática pela Universidade de São Paulo (USP). Professora da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (FEUSP). Coordenadora do Grupo de Estudo e Pesquisa em Ensino de Biologia (GEPEB).

\*\*Doutora em Educação pela Universidade de São Paulo (USP). Professora e Coordenadora-Geral Pedagógica do Colégio Dante Alighieri.

## ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN: EJES ORGANIZADORES PARA SECUENCIAS DE ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA

**RESUMEN:** Pretendemos discutir algunas de las peculiaridades de la Biología y, en la perspectiva de la alfabetización científica y de las prácticas argumentativas, proponer elementos estructurantes para la composición de secuencias de enseñanza de la Biología basadas en investigación. Buscamos describir algunas características de los conocimientos en Biología que distinguen esa de otras ciencias de la naturaleza; para ello, nos basamos básicamente las ideas de Mayr (2005). Además, presentamos la discusión de cómo tales características propias de la Biología pueden interferir en la organización de la enseñanza de esa disciplina. Incluimos una breve revisión de cómo se ha caracterizado, en la literatura, la enseñanza por investigación, con el propósito de reflejar acerca de la adecuación de esa tendencia a la enseñanza de temas de la Biología. Desarrollamos una discusión acerca de la apropiación de prácticas asociadas a la producción, a la comunicación, a la evaluación del conocimiento y a la construcción de argumentos en el intento de valorar la integración de tales prácticas a la educación científica. Finalmente, propusimos ejes organizadores para secuencias de enseñanza de la Biología por investigación.

**Palabras clave:** Enseñanza de la Biología. Enseñanza por Investigación. Argumentación.

DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/1983-2117201517s06>

## **TEACHING BY INVESTIGATION: ORGANIZATIONAL AXES FOR BIOLOGY TEACHING SEQUENCES**

**ABSTRACT:** We intend to discuss some of Biology's particularities and, from scientific literacy and argumentative practices and perspectives, propose key elements for the composition of inquiry-based Biology teaching activities. In this article, we describe some characteristics of Biology's knowledge and concepts that distinguish it from other natural sciences; for this analysis, we used the ideas proposed by Mayr (2005). Furthermore, we built a discussion on how these Biology characteristics can interfere with its teaching organization. In addition, we included a brief review about how the inquiry-based teaching has been characterized in scientific literature in order to reflect on the appropriateness of this trend in Biology teaching topics. We also raised a discussion upon the appropriation of practices associated with the production, communication, evaluation of knowledge and the argument's construction to encourage integration of such practices in Science education. Finally, we propose organization axes for the inquiry-based Biology teaching activities' structural points.

**Keywords:** Biology teaching. Teaching by investigation. Argumentation.

## INTRODUÇÃO

Temas pertinentes à biologia como, por exemplo, os conceitos de seleção natural e ancestral comum têm sido um desafio para professores que pretendem trabalhar com atividades investigativas.

Neste trabalho pretendemos discutir algumas das peculiaridades do conhecimento em biologia e, na perspectiva da alfabetização científica, com destaque para as práticas argumentativas, propor elementos estruturantes para a composição de sequências de ensino de biologia baseadas em investigação.

A educação científica deve permitir que o cidadão analise situações cotidianas, compreenda problemas e desafios socioeconômicos e ambientais e tome decisões considerando conhecimentos técnico-científicos. Isso requer tanto o entendimento de explicações e teorias das várias disciplinas científicas, quanto o conhecimento sobre suas formas de produzir afirmações, de testar suas hipóteses e de usar evidências e justificativas; requer as relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

Na perspectiva da alfabetização científica, valorizaram-se os aspectos conceituais das ciências assim como as práticas específicas e comuns da área, incluindo aspectos de comunicação e validação dos conhecimentos como características da linguagem e dos argumentos. Situações de ensino que ampliem as relações com a natureza da ciência favorecem uma aproximação com a cultura científica, em suas diferentes manifestações, como, por exemplo, suas práticas, seus valores, sua linguagem, seus objetos, seus produtos, etc. (CAPECCHI; CARVALHO, 2006; CARVALHO, 2007; DRIVER et al., 2000; TAVARES et al., 2010; TONIDANDEL, 2008).

Alguns aspectos da natureza da Ciência são universais e, na opinião de Abd-El-Khalick e colaboradores (1998), devem ser abordados pela educação científica da escola básica de forma a desenvolver familiaridade com as práticas científicas e com a maneira de essa área articular a sua construção do conhecimento (DRIVER et al., 2000).

São motivações como essas que levam professores, educadores e pesquisadores a buscarem e valorizarem atividades práticas, atividades experimentais e atividades investigativas. De diferentes formas, cada um desses tipos de atividades pode ter uma contribuição própria no esforço pela aproximação dos estudantes com a cultura científica, pela familiaridade com as práticas da ciência e com suas formas de construir conhecimento.

## CARACTERÍSTICAS PECULIARES À BIOLOGIA

Com relativa frequência, as atividades experimentais são de difícil implementação no ensino de biologia – as montagens com seres vivos requerem vários dias de observação; os resultados podem ser diferentes para cada indivíduo testado sob as mesmas variáveis; a manutenção ou a experimentação com seres

vivos envolve problemas práticos e éticos; os resultados são verificados por meio de evidências indiretas, etc. Pode-se imaginar que, com tais dificuldades para a realização de atividades experimentais, a proposição de sequências investigativas para o ensino de biologia tenha, pelo menos de início, uma redução de repertório. Cabe perguntar: o que há de diferente nesse ramo da Ciência? Será que para a biologia não valem os mesmos princípios dos demais ramos das ciências da natureza?

Nossas considerações sobre tais questões estão basicamente fundamentadas em Mayr (2005). A compreensão das particularidades da biologia, segundo o autor, depende de dois movimentos: o primeiro deles é reconhecer que nem todos os princípios básicos que emergem da física e servem de parâmetro para a maioria das ciências da natureza podem ser aplicados à biologia; o segundo inclui perceber que há princípios válidos para a biologia que não se aplicam à física (MAYR, 2005, p. 36).

Entre os princípios que não são aplicáveis à biologia, está, por exemplo, o essencialismo (ou pensamento tipológico). Dentro do pensamento essencialista, os membros de uma determinada classe são idênticos, suas características são constantes e os distinguem dos integrantes de outra classe. O pensamento essencialista, que não admite variação dentro de cada classe, é completamente diferente do introduzido por Darwin que, em substituição ao pensamento tipológico, empregou o conceito populacional.

O segundo conceito que não se aplica à biologia é o determinismo. A aceitação das leis newtonianas restringiu o espaço para variação ou eventos casuais, ainda que a ocorrência da aleatoriedade tenha rapidamente refutado o presumido determinismo. Na biologia, há que se considerar a aleatoriedade; são mecanismos regidos pelo acaso que originam e ampliam por combinações casuais a variabilidade dos organismos.

O reducionismo é outro princípio não aplicável. Para a biologia, não é possível buscar explicação dos sistemas a partir de seus menores componentes; sem negar a importância do isolamento de componentes e de uma abordagem analítica, não há a expectativa de que o estudo das partes forneça uma explicação completa dos sistemas complexos.

Outro aspecto distintivo da biologia refere-se às leis naturais universais, ausentes nos estudos dos seres vivos. Pode-se afirmar que há regularidades na biologia e há também teorias, mas há um papel menos relevante para as leis naturais na formulação das teorias, provavelmente em razão do papel desempenhado por propriedades particulares dos sistemas biológicos – como metabolismo e seleção natural, por exemplo – e mesmo por influência do acaso, que é o grande gerador de variação. “A maioria das teorias em biologia não se baseia em leis, mas em conceitos” (MAYR, 2005, p. 44), como, por exemplo, seleção, especiação, competição, biodiversidade e ecossistema.

Feitas as distinções dos princípios que não se aplicam à biologia, passemos agora a alguns daqueles que são característicos dessa ciência. Os sistemas biológicos são complexos, e propriedades emergentes surgem a cada nível de integração; ao se considerar totalidades compostas (uma colônia, por

exemplo), manifestam-se propriedades que não existem quando se consideram individualmente os seus componentes. Reprodução, regulação, adaptação, organização hierárquica são exemplos de propriedades dos sistemas biológicos que ilustram as diferenças com o mundo inanimado. Os seres vivos constituem sistemas abertos que, necessariamente, recebem energia; quando se estudam as trocas e as transformações de energia nos sistemas vivos, o princípio da entropia não se coloca como fundamento, pois em todos os casos há aporte de energia.

O aspecto talvez mais fundamental e distintivo entre o mundo inanimado e o mundo vivo (MAYR, 2005, p. 45) se refere ao conceito de biopopulação. No mundo inanimado, há classes de elementos, e a variação entre eles é acidental. Entre os seres vivos, ao contrário, a variação é a regra; dentro de cada biopopulação, cada indivíduo é único e os valores médios não são mais do que abstrações.

Os seres vivos estão sujeitos à causalidade dual – respondem às leis naturais, como de resto o fazem todos os integrantes do mundo inanimado, e ainda respondem ao programa genético. Todas as atividades, em qualquer organismo vivo, são afetadas pelo programa genético.

Para entender as características que tornam a biologia uma ciência autônoma, é necessária ainda uma explicação sobre a natureza dessa ciência.

Mayr (2005) considera que a biologia possui dois campos bem diferenciados: de um lado, a biologia funcional, que ele chama também de mecanicista, e que procura explicar os fenômenos biológicos (tais como a fisiologia das atividades orgânicas, dos processos celulares e moleculares, entre outros) em termos de química e física. De outro lado, está a biologia evolutiva, para a qual o conhecimento de história é fundamental a fim de explicar os aspectos que envolvem a evolução. Cada um desses ramos tem aspectos específicos incluindo os tipos de questões que são investigadas e a metodologia empregada. As características que discutimos acima como peculiares à biologia são relacionadas especialmente à biologia evolutiva.

## **APROXIMANDO AS CARACTERÍSTICAS DA BIOLOGIA AO ENSINO DA DISCIPLINA**

A caracterização que Mayr (2005) faz da biologia e sua diferenciação em relação a outras ciências nos ajuda a pensar na organização do ensino, que talvez tenha que buscar também formas particulares no caso dessa ciência.

Mesclada como uma questão que é ao mesmo tempo conceitual e metodológica está a ideia da variabilidade entre os indivíduos que compõem uma população. É uma questão importante do ponto de vista conceitual; a

teoria da seleção natural é variacional, [...] está baseada na variação entre os membros de uma população, sendo a evolução entendida como uma mudança nas proporções das diferentes variantes que compõem a população ao longo do tempo. A compreensão da evolução biológica com base no mecanismo de seleção natural está fortemente ligada à ideia de mudança de proporções dos tipos variantes que compõem as populações e se contrapõe à ideia de transformação individual de cada organismo ao longo de sua vida (MEYER; EL-HANI, 2000, p. 164).

Do ponto de vista metodológico, a variabilidade entre os indivíduos introduz um componente extra aos ensaios experimentais, aos projetos de investigação e mesmo às atividades de observação e descrição. As características descritas para um organismo não são necessariamente as mesmas de outro exemplar da mesma espécie; diferenças de metabolismo podem fazer com que indivíduos respondam de maneira diferente ao mesmo tratamento experimental. As atividades e as sequências de ensino não podem deixar de considerar esse aspecto em seu desenho e planejamento; de um lado para não frustrar as possibilidades de discussão dos resultados obtidos e, de outro, para familiarizar os alunos com as formas de investigar problemas biológicos.

Entendemos que a variabilidade entre indivíduos que compõem populações é uma das questões tratadas por Mayr (2005) que deve ser observada na elaboração e na realização de sequências de ensino de biologia.

Sobre a afirmação de que a maioria das teorias em biologia não se baseia em leis, mas em conceitos (MAYR, 2005, p. 44), entendemos que boa parte do conhecimento que esperamos que os alunos aprendam, mesmo aquele envolvido em sequências de ensino por investigação, demanda a mediação do professor e possivelmente sua orientação na construção de um repertório conceitual. Por exemplo, o conceito de adaptação pode ser ilustrado pelas relações entre as características de seres vivos e as condições do ambiente em que vivem; contudo, para que se reconheçam tais relações, é importante que se indiquem quais são as características dos organismos e as condições do ambiente a serem consideradas e de que maneira essa relação evidencia uma adaptação. Sem tal orientação, a observação do aluno não é focalizada para os detalhes relevantes; perde-se a oportunidade de se produzir dados observacionais que poderiam ser articulados na conceituação de adaptação (FERNANDES, 2007; TRIVELATO; FERNANDES, 2012).

Do ponto de vista das práticas científicas, nem todos os temas da biologia são investigados com procedimentos experimentais; narrativas históricas e comparação de evidências, por exemplo, são metodologias próprias da biologia evolucionista.

Todas essas considerações sobre as particularidades da biologia são importantes, pois delas decorrem aspectos que pretendemos destacar como relevantes na elaboração e na proposição de sequências de ensino baseadas em investigação.

## **ENSINO BASEADO EM INVESTIGAÇÃO**

As atividades investigativas no ensino de ciências devem providenciar, aos estudantes, a manipulação de materiais e ferramentas para a realização de atividades práticas, a observação de dados e a utilização de linguagens para comunicar aos outros suas hipóteses e sínteses (SASSERON; CARVALHO, 2011). Uma característica marcante nas atividades investigativas é a preocupação com o processo de aprendizagem dos estudantes, que têm seu

foco deslocado da aquisição de conteúdos científicos para a sua inserção na cultura científica e para o desenvolvimento de habilidades que são próximas do “fazer científico”. É importante que, além dos aspectos relacionados aos procedimentos como observação, manipulação de materiais de laboratório e experimentação, as atividades investigativas incluam a motivação e o estímulo para refletir, discutir, explicar e relatar, o que promoverá as características de uma investigação científica.

Reconhecem-se como práticas comuns da comunidade científica a utilização de dados que passam a constituir evidências na construção de novos conhecimentos, produzidos no âmbito de campos conceituais, como respostas a questões e problemas. Uma das formas de promover a alfabetização científica é providenciar situações nas quais os alunos possam vivenciar tais práticas – propor ou considerar problemas de investigação no âmbito de determinados modelos explicativos e conceituais; trabalhar com dados transformando-os em evidências; articular tais evidências como tentativa de respostas a problemas (TONIDANDEL, 2008, 2013).

Para que uma atividade seja considerada investigativa, esta deve permitir aos alunos o acesso a dados e a resolução de problemas com o uso de teorias como explicação e garantia possível na articulação entre dados e afirmação (CHINN; MALHORTA, 2002).

O ensino por investigação toma por inspiração a construção do conhecimento em processos de pesquisa científica e se fundamenta na orientação fornecida pelo professor; privilegia práticas da comunidade científica e propõe explicações baseadas em evidências do trabalho investigativo (GUISASOLA et al., 2007; SMITHENRY, 2010).

Aspectos da natureza da ciência incorporados na estrutura das atividades caracterizam o ensino por investigação. Guisasola et al. (2006) propõem que as atividades investigativas sejam compostas por elementos também presentes na construção do conhecimento científico, como: a) os objetivos da ciência (construção de explicações, desenvolvimento de metodologias, contexto sociocultural e caráter imaginativo); b) a dimensão epistemológica (desenvolvimento de hipóteses e previsões, utilização de diferentes metodologias de investigação e formas de construção do conhecimento) e; c) a dimensão ontológica (uso de teorias e conceitos, articulação de dados obtidos com apoio conceitual).

Como forma de caracterizar o ensino por investigação, o National Research Council (2000) descreveu cinco tópicos que compõem esse tipo de ensino: a) envolvimento dos alunos em questões de orientação científica; b) a resposta a questões de orientação científica dando prioridade ao uso de evidências e articulando com explicações validadas pela comunidade científica; c) formulação de explicações para as evidências que estão direcionadas às respostas das questões de investigação com orientação científica; d) avaliação de explicações à luz de explicações alternativas, particularmente àquelas que refletem os conhecimentos científicos e; e) comunicação clara das justificativas para as afirmações e conclusões construídas como resposta às questões de investigação.

As atividades de investigação em sala de aula admitem várias modalidades, que podem variar de acordo com a participação relativa de professores e alunos na condução e nas diferentes etapas da investigação, como a proposição da questão-problema, os procedimentos de investigação, a coleta de dados e a interpretação dos resultados (ANDERSON, 2007; APEDOE, 2007; BLANCHARD et al., 2012; ROGERS; ABELL, 2008; SMITHENRY, 2010).

As especificidades das ciências biológicas são fundamentais na composição das atividades de investigação em sala de aula; são essas especificidades que permitirão que os alunos se aproximem da construção de conceitos e práticas dessa área das ciências naturais. Apedoe (2007) ressalta que as atividades de investigação na escola não são livres de contexto, uma vez que as disciplinas acadêmicas têm sua própria linguagem, suas teorias e metodologias para a condução de investigação. As questões investigadas pelos estudantes, os dados obtidos, o que conta como evidência, o tipo e a estrutura das explicações formuladas, tudo é influenciado pela disciplina específica, isto é, a área da ciência na qual os estudantes estão realizando as atividades de investigação.

## INVESTIGAÇÃO E ARGUMENTOS

Consideramos que uma das características mais marcantes da cultura científica é sua linguagem. Assim, o acesso à linguagem científica é também o estabelecimento de relações com a natureza da ciência. Para Jiménez-Aleixandre e Erduran (2008), aprender ciências envolve um processo de natureza epistemológica, de apropriação de práticas associadas à produção, à comunicação e à avaliação do conhecimento. Kelly e Takao (2003) consideram que as práticas relacionadas à natureza da ciência são formas específicas de a comunidade científica propor, avaliar e legitimar afirmações teóricas a partir de padrões estruturados praticados por essa comunidade.

O procedimento científico não se resume a fazer experiências, usar equipamentos de laboratório e descobrir coisas. Essa visão do procedimento científico é incompleta e enganosa e pode sugerir que a linguagem seja necessária apenas para que os cientistas contem o que descobriram, uma vez que se omite a função da linguagem na construção de novas ideias e conhecimentos que são produzidos nas atividades científicas. A linguagem está fortemente ligada ao processo de gênese da formulação de novas ideias (SUTTON, 2003).

A linguagem do cientista baseia-se tanto nas suas atividades quanto no registro e na comunicação de suas observações, ou seja, ao mesmo tempo, ele apresenta suas ideias e busca provas para apoiar ou contradizer novos conceitos. Essa afirmação de Sutton (2003) é compatível com as observações de Latour e Woolgar (1986) em relação à importância da linguagem na vida do cientista experimental; para esses autores, o trabalho do laboratório é majoritariamente empregado no desenvolvimento de ferramentas e na criação de planos para construir figuras, traços e inscrições que possam persuadir seus leitores (LATOUR; WOOLGAR, 1986, p. 69).

Para Sutton (2003), os estudantes deveriam compreender que o procedimento científico vai além do fazer experimentos ou descobrir coisas. Eles deveriam aprender durante as aulas de ciências, de forma aproximada ao que ocorre na ciência, que a observação de fenômenos não basta. É necessário desenvolver a linguagem científica para discutir suas observações com seus pares, apresentar suas ideias à comunidade por meio de evidências, persuadindo a si mesmo e aos outros de que certas evidências são importantes.

Autores como Lemke (1990) sugerem que o ensino de ciências deve estar fundamentado na forma de raciocinar e na linguagem utilizada pela comunidade científica. A linguagem pode ser vista como produto do pensamento ou como ferramenta para a compreensão de conceitos (FLÔR; CASSIANI, 2011).

Consideramos que o ensino por investigação deve promover discussões e atividades investigativas para estudantes organizados em grupos, de forma a proporcionar melhor apropriação do discurso científico pelos alunos (KELLY; CHEN, 1999). Capecchi (2004) afirma que as discussões em sala de aula, bem como as experimentações, permitem um ensaio da linguagem científica, adequado ao contexto escolar, mantendo algumas características específicas.

Bazerman (1988) sugere que o conhecimento é introduzido para o uso da persuasão e acrescenta que a análise da história das práticas culturais associadas à produção científica tem mostrado que a elaboração de textos escritos tem um papel central nas comunidades científicas.

Para Tomio (2009), a escrita tem a função de materialidade do pensamento do autor, refletindo um estilo de pensamento. Nessa perspectiva, a escrita não apenas informa o conhecimento ao leitor, pesquisador e sujeito do conhecimento, como também possibilita sua estruturação e transformação. Sequências de ensino por investigação, que contemplem a escrita do aluno, tendem a promover que o estudante estruture seu pensamento, registre e comunique sua produção de conhecimento, bem como amplie as relações sociais que estabelece para além dos muros da escola. Tais objetivos caminham na mesma direção da alfabetização científica.

A natureza da ciência apresenta na linguagem científica uma estrutura fundamental, reconhecida pelos pesquisadores de várias áreas: a argumentação científica.

Tanto na construção de afirmações científicas dentro do trabalho experimental, em que evidências podem ser interpretadas à luz de teorias alternativas, quanto na defesa de novas afirmações científicas no domínio público, em instituições científicas, na publicação de artigos em jornais, em periódicos e na mídia em geral, a elaboração de argumentos está presente (DRIVER et al., 2000).

Estudos como os de Myers (1990) mostraram que um pesquisador precisa construir argumentos para sustentar sua publicação com o aval da comunidade científica. O artigo científico é considerado um trabalho argumentativo. Podemos afirmar que a argumentação é o padrão utilizado para o estabelecimento do conhecimento na comunidade científica.

Jiménez-Aleixandre e Erduran (2008) ressaltam a ideia de que Charles Darwin apresentou seu livro *Origem das Espécies* como um longo argumento. Essa

frase pode ser interpretada a partir de várias concepções sobre a argumentação. As autoras afirmam que o argumento apresentado no livro fornece evidências com indiscutível autoridade para compor o conhecimento científico. Além desse aspecto, aplicado como peça fundamental do pensamento científico, *Origem das espécies* descreve dois enfoques da argumentação: em primeiro, apresenta as linhas convergentes do raciocínio sobre as ideias teóricas (como, por exemplo, a teoria de Malthus) e evidências empíricas (como a seleção artificial) a título de justificativas para a afirmação construída por Darwin sobre a evolução biológica. O segundo aspecto notório da argumentação do livro foi a persuasão que Darwin desenvolveu para convencer sua audiência – composta tanto de cientistas como do público geral – de que todas as espécies viventes na Terra descendem de outras e não foram criadas todas ao mesmo tempo. Entendemos, assim como as autoras, que a argumentação, em qualquer sentido considerado, é parte integral da ciência e deve ser integrada à educação científica.

Driver et al. (2000) ressaltaram o papel que a argumentação pode desempenhar na aprendizagem de ciências, tanto do ponto de vista conceitual, a partir do domínio da linguagem científica, quanto do ponto de vista epistemológico, compreendendo sua construção social. Se os jovens têm oportunidade de construir um argumento por eles mesmos, relacionando dados, fatos, afirmações e justificativas, fazendo escolhas que possam convencer ou persuadir seus colegas estudantes, expressando suas dúvidas e relatando vias alternativas, esse tipo de argumento retórico tem valor para o ensino de ciências. A argumentação dialógica acontece quando diferentes possibilidades são examinadas e são feitas escolhas que forneçam a sustentação da afirmação que será feita durante a construção do argumento. Assim, a argumentação dialógica também pode ser reconhecida na perspectiva individual, ou seja, também ocorre quando o indivíduo está escrevendo um relatório científico, por exemplo. Isso porque construir um argumento significa considerar posições alternativas. Certamente, em meio a uma discussão, entre um grupo de alunos, é mais fácil reconhecer as posições alternativas e as escolhas feitas.

Saber ciências é mais do que saber sobre os fenômenos, conceitos e leis da ciência. É também saber a relação desses fenômenos com outros, por que são importantes e como são produzidos esses conhecimentos (DRIVER et al., 2000).

Um estudante que saiba construir seus argumentos ao fazer afirmações ou declarações sobre fenômenos da natureza está aprendendo ciências. A aprendizagem dessa prática depende do tempo dedicado às aulas e do tipo de atividades selecionadas, permitindo aos estudantes entender e repensar algumas escolhas retóricas ligadas às generalizações que eles devem fazer nas aulas de ciências (BAZERMAN, 1988).

O professor precisa formular questões para que os estudantes participem de situações que demandam a interpretação de evidências, valorizando o pensamento científico. Essas questões permitem não apenas que os alunos tenham acesso a dados e lhes atribuam significado, mas também que construam conclusões a partir de relações construídas entre os dados e as teorias da ciência.

Neste trabalho, consideramos a argumentação como uma forma de esclarecimento do raciocínio utilizado para a elaboração de uma afirmação<sup>1</sup>.

Consideramos a argumentação, assim como vários autores, como uma prática estruturante da cultura científica, sendo chamada de “coração das práticas epistêmicas da ciência” (BRICKER; BELL, 2008; KUHN, 2010; LATOUR; WOOLGAR, 1986). Essa prática pode coordenar, dentro dos objetivos da educação científica, dois propósitos: o de proporcionar e intensificar a aprendizagem de conceitos científicos e também o de ampliar as possibilidades de envolvimento dos estudantes no discurso científico.

Os argumentos podem ser construídos individualmente ou socialmente (ERDURAN; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2008). Segundo as mesmas autoras, podem ter dois tipos de construção: os argumentos científicos, referenciados em evidências e os narrativos, cuja função é a persuasão. Os argumentos científicos, que são os que aqui queremos focalizar, relacionam logicamente os dados, as afirmações e as teorias que os sustentam (MYERS, 1990; ERDURAN; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2008).

Segundo Bricker e Bell (2008), a aprendizagem baseada na investigação pode estimular a construção de argumentos pelo uso de evidências e explicações para justificar a conclusão. Atualmente, esse tipo de atividade raramente tem tido espaço em aulas de ciências. O que se usa é uma retórica de conclusões, de forma a ignorar a prática usada pelos cientistas para construir, avaliar e dar suporte às suas afirmações.

Por outro lado, as competências científicas estão sendo amplamente investigadas na educação em ciências. Um dos motivos que pode ter ampliado significativamente o número de investigações nessa área é que a OECD<sup>2</sup> faz uma aferição dessa competência na avaliação internacional PISA<sup>3</sup>. Além disso, vários programas educacionais oficiais de muitos países trazem recomendações nesse sentido, inclusive no Brasil. No caso brasileiro, a matriz de referência do Novo Enem (TEIXEIRA, 2009) preconiza o uso de argumentos como uma das competências que deve ser avaliada.

A competência argumentativa pode ser interpretada de várias formas. Na área das ciências, a argumentação pode ser definida como a capacidade de se colocar em prática, de forma integrada, os saberes conceituais e procedimentais e a aplicação do que se aprendeu em novos contextos (BRAVO et al., 2009). Pode-se definir a argumentação sobre questões científicas, segundo as mesmas autoras, como a validação de uma afirmação – enunciado ou conclusão – a partir das evidências disponíveis, o que requer, então, uma coordenação lógica entre os dados e as conclusões (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; ERDURAN, 2008).

Segundo a investigação feita por Tavares e colaboradores (2010), a argumentação oral desenvolvida pelos estudantes requer a articulação entre as noções científicas sobre evolução biológica com as práticas argumentativas, de forma a coordenar as evidências com as afirmações em níveis epistêmicos diferentes. A influência das estratégias do professor são fundamentais para que essa construção possa ser realizada pelos alunos (MCNEIL; PIMENTEL, 2009).

A argumentação pode ser definida, em seu aspecto estrutural, numa justificativa para uma afirmação (declaração) embasada no uso de evidências e articulada com o raciocínio (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; ERDURAN, 2008). Esse processo de construção argumentativa pode ocorrer tanto internamente à pessoa (cognitivamente) ou ser externado na escrita ou na fala.

As pesquisas recentes em educação indicam que aprender como argumentar para propor e justificar afirmações é difícil para os estudantes. É importante promover situações em que os alunos possam aprender sobre os tipos de afirmações que os cientistas fazem, como avançam nessa construção, que tipos de evidência são necessários para garantir uma ou outra afirmação e como as evidências podem ser introduzidas e interpretadas pelos padrões da comunidade científica (KELLY; CHEN, 1999).

## EIXOS ORGANIZADORES PARA SEQUÊNCIAS DE ENSINO DE BIOLOGIA POR INVESTIGAÇÃO

A seguir, destacamos alguns aspectos que julgamos relevantes na elaboração de sequências didáticas de biologia por investigação. Tratamos de modo abrangente o que entendemos ser válido para muitos dos temas pertencentes à biologia; contudo, as considerações mais específicas se pautam em questões relacionadas ao tema evolução<sup>4</sup>.

Procuramos compreender a natureza das ciências biológicas e algumas de suas características particulares, para que suas práticas, específicas da área, possam ser incorporadas didaticamente. Falamos, particularmente, de temas biológicos inseridos na biologia evolucionista. Nesse caso, não se colocam as atividades de cunho experimental, sendo mais apropriadas a comparação de evidências variadas e as narrativas históricas. Ao pensarmos nesse tema, é importante ter em conta que as pesquisas consideram tempos muito longos; os indivíduos não são tipos essenciais, e sim integrantes de biopopulações, o que equivale a dizer que a variação entre eles é a regra. Há diferentes níveis de organização que interagem e propriedades que emergem entre um nível e outro. Essas especificidades deveriam ser incorporadas às atividades e às discussões, de forma a enriquecer os conhecimentos dos alunos nas práticas das atividades biológicas.

*A proposição de um problema* – No ensino por investigação, os alunos enfrentam problemas cuja resolução requer seu engajamento e o desenvolvimento de estratégias com relativo grau de autonomia. Tal engajamento e autonomia dependem de os estudantes reconhecerem a questão-problema que orienta a investigação; se essa questão se coloca distante ou fora da estrutura cognitiva do aluno, não há como ser reconhecida como um problema a ser investigado. Nesses casos, o papel do professor tem uma relevância destacada; é ele que, recuperando conhecimentos já estabelecidos, dirigindo o foco de atenção dos alunos, oferecendo condições e produzindo estímulos adequados, poderá situar questões-problema em processos que chamamos de investigação guiada pelo professor.

*O trabalho com dados* – Nas pesquisas realizadas na cultura científica, a obtenção de dados é fundamental. Podemos reconhecer que esse procedimento é uma característica própria da natureza da ciência, devendo ser vivenciada no contexto escolar. A obtenção de dados é um dos aspectos contemplados nas sequências de ensino de biologia por investigação.

*Os dados iniciais* – diretos ou indiretos, fornecidos ou obtidos em literatura, tomados a partir de observações qualitativas ou quantitativas – podem gerar a maioria dos fatos científicos. As pessoas têm suas próprias experiências cotidianas e estão familiarizadas com alguns fenômenos, mas os fatos, *per se*, não providenciam uma compreensão do mundo e seus fenômenos. As relações entre fatos, dados e teorias explicativas é que nos dão essa compreensão. É uma prática corrente dos cientistas decidir quais dados são relevantes e quais serão analisados. Um ensino que pretende desenvolver nos alunos habilidades próprias da natureza da ciência deve providenciar também o acesso e o uso de dados, o que está previsto na aprendizagem por investigação. Nessa linha, além de selecionar, registrar e analisar os dados da investigação realizada, os alunos precisam de algum conhecimento conceitual para compreender esses dados – ou até mesmo para reconhecê-los como tal – e, assim, construir uma conclusão para a questão colocada.

*O papel da hipótese* – Outro elemento do processo investigativo da ciência é a elaboração de hipóteses. Elas são comumente produzidas na fase de construção de possíveis soluções para um problema. Na ciência, a elaboração de hipóteses ocorre, com frequência, como tentativa de explicação de determinado fato ou fenômeno. Na cultura escolar, os estudantes, ao elaborarem suas hipóteses sobre determinado fenômeno, podem explicitar seus conhecimentos e modelos explicativos sobre o assunto em questão. As hipóteses, construídas e explicitadas numa sequência didática por investigação, têm papel importante no desenvolvimento da atividade pelo estudante, que elabora uma possível explicação ou resposta, assim como colabora com o professor, que pode entender quais são as concepções que o estudante tem sobre determinado tema, fornecendo-lhe elementos para planejar intervenções e reestruturações necessárias. Sem conhecer a hipótese do aluno, tanto o professor quanto o próprio estudante teriam mais dificuldade para acessar as concepções prévias sobre o tema.

Entendemos a hipótese como uma tentativa de solução à questão-problema, que dá direção à investigação, podendo ser diferenciada em três categorias (HEMPEL, 1966): a) hipóteses descritivas, que são estabelecidas como verdades ainda não confirmadas e relacionam-se ao conhecimento factual; b) hipóteses procedimentais, que se referem ao conhecimento de como deve ser realizado um procedimento, uma experimentação, uma medida, ou seja, a parte experimental da pesquisa; c) hipóteses explicativas, que especulam as causas do fenômeno descrito no problema. Numa sequência de ensino por investigação, cada um desses tipos de hipóteses pode ocorrer em resposta a diferentes problemas ou a diferentes etapas de uma investigação.

*A construção de afirmações* – Na cultura científica, durante suas pesquisas, para providenciar as explicações necessárias para compreender e validar os dados obtidos, os cientistas podem recorrer ao conhecimento já estabelecido, ou estabelecer novas

afirmações que sustentem suas conclusões. No caso da cultura escolar, o professor precisa providenciar a explicação e o modelo teórico que dê legitimidade aos dados, tornando-os evidências das conclusões. É nessa articulação que se estabelece a distinção entre conhecimento científico e senso comum. Construir afirmações que tenham valor como conhecimento científico implica construir argumentos científicos, ou seja, estabelecer conclusões que se relacionem logicamente a evidências (dados) e que sejam apoiadas pelos conhecimentos validados pelo campo conceitual.

A forma como as construções teóricas e as evidências se relacionam é central para entender a natureza da ciência. Esse é um aspecto importante das sequências de ensino de biologia por investigação; os conhecimentos biológicos são expressos em conceitos, e não em leis naturais. Para sua construção, é fundamental o âmbito conceitual em que se consubstanciam. Para isso, a condução do professor e sua orientação na construção teórica que situa o problema e permite a consideração das evidências são fundamentais.

*As metodologias de investigação* – Em muitos casos, alimenta-se a expectativa de que uma atividade prática, experimental ou investigativa, tenha potencial para produzir mudanças conceituais. Pode-se dizer, por outro lado, da frustração frequente dessa expectativa, especialmente nos casos em que há dificuldade de se evidenciar conflitos entre modelos ingênuos e dados empíricos. A racionalidade da ciência se sustenta não pela defesa de um ou de outro modelo explicativo, mas pela consistência e pela coerência das práticas empregadas na construção das explicações.

Por isso, acreditamos que deve-se mudar não só o conceito, mas a forma como o conceito científico é formado, ou seja, mudar não somente o que se pensa, mas também como se pensa.

No ensino por investigação, o professor é um orientador da investigação, incentiva a formulação de hipóteses, promove condições para a busca de dados, auxilia as discussões e orienta atividades nas quais os alunos reconhecem as razões de seus procedimentos.

Ao desenhar uma sequência de aprendizagem baseada em investigação, deve-se graduar a dificuldade da tarefa e organizar a orientação do professor em função das dificuldades do estudante (GUISASOLA et al., 2009). A escolha de modelos e situações problemáticas deve ocorrer de modo que representem um desafio que possa ser enfrentado pelos alunos, de tal forma que, mediante a interação com os colegas e a ajuda eventual do professor, o aluno possa participar do processo de construção, modificação e enriquecimento de modelos, ou seja, da aprendizagem de conceitos e procedimentos da ciência.

Sobre temas biológicos relacionados à evolução, valorizamos como estratégia metodológica a apresentação de dados fornecidos pelo professor e também obtidos pelos alunos por meio de observação e comparação. Com a proposição de questões que levem os alunos a trabalharem com dados provenientes de informes de investigações científicas, recolhidos de bancos de dados, buscados em redes de informação, observados em situações promovidas pelos professores, espera-se motivar os estudantes a fazerem interpretações, apoiados nos conhecimentos

conceituais já compartilhados ou trazidos pelo professor. Trata-se de mais uma aproximação com as práticas científicas, isto é, a interpretação de dados feita no âmbito de um campo teórico (CHINN; MALHORTA, 2002).

O ideal é alcançar um balanço entre a liberdade dos estudantes para construir suas próprias ideias e a orientação do professor necessária para que façam progressos no processo de construção de conhecimentos.

No ensino por investigação consideramos importante ressaltar duas características: a) fornecer informação aos estudantes, em qualquer ponto do processo de ensino-aprendizagem, sobre os objetivos e as explicações a respeito de seus procedimentos, de forma que as atividades tenham sentido para eles; b) orientar os estudantes nas ações desenvolvidas ao longo das diferentes etapas da investigação, familiarizando-os com as práticas argumentativas (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE et al., 2000).

A área de ciências biológicas requer o acompanhamento de processos muito longos, e uma das formas de se conduzir atividades de ensino por investigação é propor sequências didáticas com técnicas de investigação diferenciadas. Smith e Reiser (2005) propõem auxiliar os estudantes na investigação observacional e na articulação com a teoria; apresentam o argumento de que algumas disciplinas da ciência precisam de técnicas específicas para a construção do conhecimento, como, por exemplo, na área de simulação ambiental, os estudantes precisam desenvolver teorias na forma de modelos que são validados pela comparação de resultados.

Se o interesse é o estudo de evolução biológica, a sequência de ensino pode privilegiar investigações baseadas em observação e comparação, usadas para gerar hipóteses e articular teorias existentes, alcançando assim a compreensão de práticas científicas da área de ciências biológicas (SMITH; REISER, 2005).

Entendemos que o ensino por investigação pode providenciar aos alunos o acesso às práticas da ciência, de forma a aproximá-los da natureza da ciência e promover sua alfabetização científica. Para isso, consideramos que uma sequência didática de biologia baseada em investigação deve incentivar e propor aos alunos a) uma questão-problema que possibilite o engajamento dos alunos em sua resolução, b) a elaboração de hipóteses em pequenos grupos de discussão, c) a construção e registro de dados obtidos por meio de atividades práticas, de observação, de experimentação, obtidos de outras fontes consultadas, ou fornecidos pela sequência didática; d) a discussão dos dados com seus pares e a consolidação desses resultados de forma escrita e; e) a elaboração de afirmações (conclusões) a partir da construção de argumentos científicos, apresentando evidências articuladas com o apoio baseado na ciências biológicas.

## NOTAS

<sup>1</sup> Utilizaremos a palavra “afirmação” como sinônimo de “conclusão”, “reivindicação” ou “declaração” construída por indivíduos como um dos constituintes do argumento.

<sup>2</sup> OECD: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (ONU).

<sup>3</sup> PISA: Programme for International Student Assessment.

<sup>4</sup> Muitas das considerações aqui relacionadas estão referenciadas em uma Sequência de Ensino de Biologia Baseada em Investigação (SEBBI), elaborada por Tonidandel em sua tese de doutorado (2013).

## REFERÊNCIAS

- ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R.; LEDERMAN, N. The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, v. 82, n. 4, p. 417-436, 1998.
- ANDERSON, R. D. Inquiry as an organizing theme for science curricula. In: ABELL, S. K. *Handbook of research on science education*. Oxford, England: Taylor & Francis, 2007. p. 807-830.
- APEDO, X. S. Engaging Students in Inquiry: Tales from an Undergraduate Geology Laboratory-Based Course. *Science Education*, v. 92, n. 4, p. 631-663, 2007.
- BAZERMAN, C. *Shaping Written Knowledge: The genre and activity of the experimental article in science*. Madison: University of Wisconsin, 1988.
- BLANCHARD, M. R. et al. Is Inquiry Possible in Light of Accountability? A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, v. 94, n. 4, p. 577-616, 2012.
- BRAVO, B.; PUIG, B.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación Química*, v. XX, n. 2, p. 137-142, 2009.
- BRICKER, L. A.; BELL, P. Conceptualizations of Argumentation from Science Studies and the Learning Sciences and Their Implications for the Practices of Science Education. *Science Education*, v. 92, n. 3, p. 473-498, 2008.
- CAPECCHI, M. C. *Aspectos da cultura científica em atividade de experimentação nas aulas de física*. 2004. 264 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.
- CAPECCHI, M. C.; CARVALHO, A. M. Atividade de laboratório como instrumento para a abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula. (Pró-posições, Ed.) *Revista Quadrimestral da Faculdade de Educação Unicamp*, Campinas, v. 17, n. 1, 2006.
- CARVALHO, A. P. Habilidades de professores para promover a enculturação científica. *Revista Contexto e Educação*, v. 22, n. 77, Ijuí, p. 25-49, 2007.
- CHINN, C. A.; MALHORTA, B. A. Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, v. 86, n. 2, p. 175-218, 2002.
- DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the Norms of a Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.
- ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Dordrecht: Springer Science, 2008.
- FERNANDES, J. A. B. *Você vê essa adaptação? A aula de campo em ciências entre o retórico e o empírico*. 2007. 326 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.
- FLÖR, C. C.; CASSIANI, S. O que dizem os estudos da linguagem na educação científica? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 67-86, 2011.
- GUISASOLA, J. et al. Designing and Evaluating research-based instructional sequences for introducing magnetic fields. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 7, n. 4, p. 699-722, 2009.
- GUISASOLA, J.; FURIÓ, C.; CEREBIO, M. Science Education Based on Developing Guided Research. In: THOMASE, M. V. (Ed.). *Science Education in Focus*. New York: Nova Science Publishers,

- Inc., p. 173-202. 2008.
- GUISASOLA, J. et al. Propuesta de Enseñanza en cursos introductorios de física en la universidad, basada en la investigación didáctica: siete años de experiencia y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 25, n. 1, p. 91-106, 2007.
- HEMPEL C. *Filosofia de la ciencia natural*. Madrid: Alianza Editorial, 1996.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. Argumentation in science education: An overview. In: ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (Ed.). *Argumentation in Science education: Perspectives from classroom-based research*. Dordrecht: Springer. p. 3-28, 2008.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.; RODRIGUES, M.; DUSCHL, R. A. Doing the lesson or doing science. Argument in high school genetics. *Science Education*, v. 84, n. 6, p. 757-792, 2000.
- KELLY, G. J.; CHEN, C. The sound of music: Constructing science as a sociocultural practice through oral and written discourse. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 36, n. 8, Reston, p. 883-915, 1999.
- KELLY, G. J.; TAKAO, A. Assessment of Evidence in University Students' Scientific Writing. *Science e Education*, v. 12, n. 4, p. 341-363, 2003.
- KUHN, D. Teaching and Learning Science as Argument. *Science Education*, v. 94, n. 5, p. 810-824, 2010.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1986.
- LEMKE, J. L. *Talking Science, Language, Learning and Values*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1990.
- MAYR, E. *Biologia, Ciência Única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica*. Tradução de M. Leite. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.
- MCNEIL, K. L.; PIMENTEL, D. S. Scientific Discourse in Three Urban Classrooms: The Role of the Teacher in Engaging High School Students in Argumentation. *Science Education*, v. 94, n. 2, p. 203-229, 2009.
- MEYER, D.; EL-HANI, C. N. Evolução. In: EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (Org.) *O que é vida?* Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000. p. 153-185.
- MYERS, G. *Writing Biology: Texts in the Social Construction of Scientific Knowledge*. Madison: University of Wisconsin, 1990.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Center for Science, Mathematics, Engineering and Education. *Inquiry and the National Science Education Standards: a guide for teaching and learning*. Washington: National Academy Press, 2000.
- ROGERS, M. A.; ABELL, S. K. The Design, Enactment and Experience of Inquiry-Based Instruction in Undergraduate Science Education: A Case Study. *Science Education*, v. 92, n. 4, p. 591-607, 2008.
- SASSERON, L. H.; CARVAHO, A. P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Toulmin. *Ciência e Educação*, Bauru, v. 17, n. 1, p. 97-114, 2011.
- SMITH, B. K.; REISER, B. J. Explaining Behavior through Observational Investigation and Theory Articulation. *The Journal of the Learning Sciences*, v. 14, n. 3, p. 315-360, 2005.
- SMITHENRY, D. W. Integrating Guided Inquiry into a Traditional Chemistry Curricular Framework. *International Journal of Science Education*, v. 32, n. 13, p. 1689-1714, 2010.
- SUTTON, C. Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 21, n. 1, p. 21-25, 2003.
- TAVARES, M. L.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; MORTIMER, E. F. Articulation of Conceptual Knowledge and Argumentation Practices by High School Students in Evolution Problems. *Science e Education*, local de publicação, v. 19, p. 573-598, 2010.
- TEIXEIRA, M. *Portal do Mec - Novo Enem - Matriz de referência*. 2009. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br>>. Acesso em: 29 jan. 2012.
- TOMIO, D. Dear Mr. Charles Darwin... Dear Mr. Fritz Muller: da correspondência entre o evolucionista e o naturalista para caracterizar a escrita na ciência e no ensino de ciências. In: ENPEC – EN-

- SINO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. *Atas...* Florianópolis: Unesp, 2009, p. 1-13.
- TONIDANDEL, S. M. *Escruta argumentativa de alunos do ensino médio*. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de educação da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.
- TONIDANDEL, S. M. *Superando obstáculos no ensino e na aprendizagem da evolução biológica*. O desenvolvimento da argumentação dos alunos no uso de dados como evidências da seleção natural numa sequência didática baseada em investigação. 2013. 342 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.
- TRIVELATO, S. F.; FERNANDES, J. A. B. O papel da observação na produção de sentido em aulas expositivas de ciências. In: CASTELLAR, S. V.; MUNHOZ, G. B. (Org). *Conhecimentos escolares e caminhos metodológicos*. São Paulo: Xamã Editora, 2012, p. 185-200.