

Padrões, processos e componentes sistêmicos no ensino médio de Biologia

Patterns, processes, and systemic components in high school Biology

Ítalo Nascimento de Carvalho

Instituto de Biologia – Universidade Federal da Bahia
italonc@hotmail.com

Nei Freitas Nunes Neto

Instituto de Biologia – Universidade Federal da Bahia
nunesneto@gmail.com

Charbel Niño El-Hani

Instituto de Biologia – Universidade Federal da Bahia
charbel.elhani@gmail.com

Resumo

Com o intuito de contribuir para as discussões sobre seleção de conteúdos conceituais de Biologia para o ensino médio, introduzimos critérios que podem orientar esta tarefa. Nossa proposta é que um papel importante seja conferido aos conceitos estruturantes que levem em conta a natureza dual das ciências biológicas (evolutiva e funcional) e a estrutura teórica da mesma, permitindo que os estudantes compreendam a lógica interna da Biologia de maneira integrada, além de torná-los aptos a entender novos conceitos aos quais sejam expostos. Neste trabalho, mostramos como a visão de sistemas biológicos em termos de processos, padrões e componentes sistêmicos auxilia a identificação desses conceitos estruturantes. Mostramos também uma breve análise de como estas categorias são utilizadas em livros didáticos.

Palavras chave: ensino médio de biologia, currículo, seleção de conteúdos conceituais, conceitos estruturantes.

Abstract

With the intention of contributing to discussions about how to select high school Biology conceptual contents, we introduce criteria that may guide this task. Our proposal is that an important role be ascribed to the structuring concepts that take into account the dual nature of the biological sciences (evolutionary and functional) and its theoretical structure, making it possible that students understand the internal logic of Biology in an integrated way. Moreover, this will make them able to understand new concepts to which they are exposed. In this paper, we intend to show how to view biological systems as patterns, processes, and systemic components would help identifying structuring concepts. We also show a short analysis of how those categories are used in textbooks.

Key words: high school biology, curriculum, content selection, structuring concepts.

Introdução

As discussões sobre a construção de currículos de ciências perpassam diversos aspectos, incluindo debates sobre os tipos de conteúdos que devem ser ensinados (conceituais, procedimentais, atitudinais). Não se trata apenas de definir maneiras de ensinar esses conteúdos, mas também de selecioná-los, em quantidade compatível com os limites colocados pelo tempo escolar. A literatura que trata de critérios para a escolha de conteúdos de Biologia para o ensino médio é escassa (e. g. AYUSO & BANET, 2002) sendo que os estudos tratam apenas de áreas específicas, e não desta disciplina como um todo.

Em artigo anterior (CARVALHO *et al*, 2011), iniciamos uma discussão sobre a seleção de conteúdos conceituais para o ensino de Biologia, na qual priorizamos conteúdos que permitissem aos estudantes compreender de maneira abrangente e integrada a estrutura interna das ciências biológicas. Não propusemos que este deveria ser o único critério a ser considerado, dado que há outros aspectos a considerar, como a importância social dos conteúdos. A ideia foi, antes, salientar a importância daquele critério. Para identificar os conteúdos, utilizamos inicialmente a ideia de *conceitos estruturantes* (GAGLIARDI, 1986). Um conceito estruturante “transforma o sistema cognitivo, permitindo a aquisição de novos conhecimentos, a organização dos dados de uma outra maneira, inclusive a transformação dos conhecimentos anteriores” (p. 31). Estes são conceitos centrais que estruturam o conhecimento do sujeito sobre determinado campo, servindo como base para a aprendizagem sistemática e outros conceitos do mesmo campo. A proposta é, pois, que, se os estudantes de Biologia forem munidos de um conjunto básico de conceitos estruturantes referentes a diversas áreas desta ciência e relacionados entre si, eles poderiam não somente compreender a lógica interna da mesma, mas também estariam preparados para compreender mais facilmente novos conceitos aos quais forem expostos, seja na escola ou fora dela.

Para identificar esses conceitos, devemos, porém, levar em conta uma tese acerca da natureza dual da Biologia, proposta por Ernst Mayr (1982, 1988, 2005). Para este autor, a Biologia consiste na verdade de dois campos relacionados de conhecimento sobre os seres vivos, com metodologias e objetivos distintos, porém complementares. Um deles é a Biologia funcional, que se utiliza de abordagens experimentais para estudar fenômenos que ocorrem durante a ontogenia dos seres vivos, em intervalos de tempo passíveis de observação no tempo de uma vida humana. A Biologia evolutiva, por sua vez, se vale de abordagens históricas e se ocupa de fenômenos que ocorrem em longos períodos de tempo, não diretamente observáveis, como eventos de especiação, por exemplo. É válido ressaltar que essa divisão não é estanque, mas difusa: mesmo que certas disciplinas se dediquem primariamente a um destes campos, elas sempre sofrerão influência (em maior ou menor intensidade) do outro. Nenhuma explicação biológica estaria completa se não contemplasse ambas as dimensões. Assim, propomos que, entre os conceitos ensinados aos estudantes, estejam conceitos pertencentes a estes dois campos que constituem a Biologia, com uma abordagem equitativa e inter-relacionada deles. Isso contrasta com o ensino de Biologia atual, em que há predomínio da Biologia funcional, em detrimento da evolutiva, e não se proporciona uma integração do conhecimento biológico.

Por fim, utilizamos o pano de fundo conceitual proposto por Samuel Scheiner (2010) como forma de estruturar o conhecimento biológico. Este autor considera a Biologia uma ciência carente de teorias abrangentes, propondo que reverter esta situação traria vários benefícios, na medida em que as teorias tornam claras as formas de pensar, padronizam maneiras de inter-

pretar dados, revelam pressupostos implícitos, mostram conexões entre diferentes disciplinas e tornam claras as questões centrais que são abordadas pelo empreendimento científico. Assim, Scheiner propõe uma estrutura hierárquica na qual sustenta que a Biologia possui uma teoria mais abrangente, cujo domínio seria a “diversidade e complexidade dos sistemas biológicos, incluindo causas e consequências” (p. 299). Esta teoria inclui, por sua vez, cinco teorias gerais: genética, célula, organismo, ecologia e evolução. Cada teoria possui um domínio específico (mas passível de sobreposições parciais aos domínios das outras) e princípios fundamentais próprios. Estes princípios são postulados em que constam conceitos e generalizações apoiadas pela evidência disponível.

Uma das contribuições do trabalho de Scheiner reside em que ele propicia bases para que iniciemos o ensino com generalizações e depois abordemos fatos mais específicos, em vez de apresentarmos aos estudantes longas listas de fatos e esperarmos que eles deduzam, a partir daí, as generalizações. Para os estudantes, essa mudança seria útil, porque os ajudaria a discernir o que é importante aprender. Assim, em nossa proposta para seleção de conteúdos conceituais, o pano de fundo propiciado por Scheiner permitiu a busca de conceitos gerais o suficiente para permitir que os estudantes compreendam a lógica interna da Biologia, bem como as conexões estabelecidas entre as diferentes disciplinas da mesma.

O propósito deste trabalho é incluir na proposta anterior uma quarta dimensão, referente aos tipos de conceitos estruturantes. Defendemos que eles podem ser divididos em três categorias: processos, padrões e componentes sistêmicos. Inicialmente, descrevemos essas categorias. A seguir, contabilizamos quantos conceitos pertencentes a cada categoria são apresentados aos estudantes em três capítulos de livros didáticos de Biologia para o ensino médio, analisando se há predomínio de alguma das categorias. Por fim, argumentamos que, ao escolhermos os conceitos estruturantes, devemos priorizar o equilíbrio entre as categorias para uma aprendizagem efetiva da Biologia e mostramos como eles podem se relacionar em redes conceituais.

Padrões, processos e componentes sistêmicos

Os sistemas vivos apresentam uma variedade de componentes que realizam processos e geram padrões. Ao estudá-los, podemos dar ênfase a algumas dessas categorias e deixar outras em segundo plano; porém, não é possível ignorar completamente qualquer uma delas. Um estudo exclusivo dos componentes de um sistema não permite compreender seu funcionamento, porque se deixam de lado interações entre os mesmos, ignorando assim o aspecto temporal.

Se alguém tentar, ao contrário, compreender o funcionamento de um sistema observando apenas os processos que nele ocorrem e deixando de lado os componentes, descobrirá uma tarefa impossível. Processos envolvem a interação dos componentes de um sistema não apenas na dimensão temporal, mas também na dimensão espacial, sendo que algumas propriedades de estes componentes possuem influência direta sobre o processo, determinando o espectro total de qualidades possíveis das interações. É possível, então, pensar em processos como mecanismos (para uma visão sobre a modelagem de mecanismos, ver Craver & Bechtel (2006)). Por fim, temos os padrões. Eles nos permitem identificar regularidades no funcionamento de um sistema e construir generalizações que, muitas vezes, nos dotam de uma capacidade de previsão. O reconhecimento de padrões é indispensável à atividade científica, que, sem eles, se limitaria à simples descrição de casos isolados e com reduzido potencial heurístico.

Tendo isso em vista, o ensino de Biologia, para ser efetivo, deve dar maior destaque a processos e padrões e menor destaque a componentes do que atualmente, de modo a alcançar maior equilíbrio entre essas categorias. Na próxima seção, mostraremos dados que suportam a afirmação de que muito enfoque é dado aos componentes sistêmicos em livros didáticos de ensi-

no médio de Biologia, havendo um inchaço no número de conceitos relacionados a eles. Mas antes precisamos definir melhor o que são processos, padrões e componentes sistêmicos, complementando os elementos já apresentados acima. Ressaltamos que essa é uma questão metafísica bastante discutível e diversos autores possuem definições diferentes daqueles termos; logo, não esperamos chegar a uma conclusão peremptória quanto a isso. Entretanto, adotaremos significados que nos permitem cumprir nosso objetivo de maneira pragmática. Para isso, tomamos como base uma visão hierárquica dos sistemas, na qual cada nível se encontra aninhado no nível imediatamente superior a ele.

Iniciaremos pelos componentes sistêmicos. Eles são entidades discretas com fronteiras relativamente bem definidas e em descontinuidade com outras entidades que compõem o sistema, sendo que, para reconhecermos essa descontinuidade, devemos estipular previamente um período limitado de observação (caso contrário, seria possível conectar duas entidades quaisquer de um sistema via interações diretas ou indiretas) (SALTHER, 1985). A descontinuidade também depende da escala e do nível hierárquico em que realizamos a observação. Assim, o que é um processo ou padrão em um nível hierárquico pode ser um componente em algum nível acima. Um componente pode ser tangível, como no caso de uma estrutura física (uma enzima ou um órgão, por exemplo) ou não (como a biodiversidade).

Os processos podem ser vistos como “... um conjunto coordenado de mudanças na aparência (*complexion*) da realidade, uma família organizada de ocorrências que são sistematicamente ligadas umas às outras, seja causal ou funcionalmente” (RESCHER, 1996, p.38). Já os padrões são regularidades perceptíveis no funcionamento ou estrutura de um sistema. Os padrões podem ser formas de organização, de interação, históricos ou funcionais. Como nosso objetivo é tecer generalizações, um padrão só tem valor, em nossa classificação, se for encontrado em mais que um exemplar do sistema que o apresenta.

Conteúdos conceituais em livros didáticos de Biologia do ensino médio

Realizamos uma análise dos conteúdos conceituais em livros submetidos ao Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) do ano de 2007. Sorteamos aleatoriamente entre estes livros três capítulos, um de cada área temática a seguir: zoologia, ecologia e sistemática. Essas áreas foram propositalmente escolhidas por enfatizarem em diferentes medidas conceitos que se referem a componentes sistêmicos, processos e padrões, respectivamente (veremos mais adiante o porquê). Os conteúdos conceituais de cada capítulo foram então contabilizados e classificados entre essas três categorias.

Uma observação se faz necessária: a classificação dos conteúdos conceituais dependeu do nível hierárquico das estruturas biológicas que eram o foco dos capítulos. Assim, o que é um processo ou padrão em um nível de análise pode ser um componente sistêmico quando se analisa os níveis acima do primeiro. Isso significa enxergar processos e padrões como “caixas pretas”, cujos resultados (e não as interações e dinâmicas internas a eles) são as únicas contribuições para o sistema que nos interessam. Tendo isso em vista, é possível perceber, por exemplo, que “gameta” é um padrão de organização celular quando se estuda a gametogênese na citologia (sendo a célula o nível de análise), mas é um componente sistêmico quando se estuda a fecundação na embriologia (cujo nível de análise é o organismo).

Ecologia

A ecologia é uma área da Biologia fortemente centrada no estudo de processos e padrões. Isso fica claro ao se observar, por exemplo, a grande variedade de modelos matemáticos em que as

interações dos organismos entre si e com o ambiente são vistas como variáveis que compõem equações. No ensino médio, porém, o estudo da ecologia se limita, em grande parte, a explicar padrões em termos de suas características finais, mas não dos processos que levam a eles.

O capítulo de ecologia analisado trata de dinâmicas de populações biológicas. De um total de 57 conteúdos conceituais utilizados, 33 são componentes sistêmicos, 16, são padrões, e apenas 8 são processos. Destes últimos, apenas um foi realmente descrito no capítulo (“crescimento populacional”), sendo que para isso apenas 7 componentes foram utilizados. Quanto aos padrões, há uma regularidade na maneira como são abordados: os fatores que os influenciam são descritos, mas não são explicitadas as relações entre eles. Ou seja: há estudo de padrões sem o estudo dos processos que os originam. Isso pode levar à falsa impressão (se o estudante se ocupar de tentar deduzir as relações entre os componentes) de que as interações que geram os processos são sempre aditivas, o que nem sempre é correto.

Sistemática

Por se tratar de uma disciplina que se ocupa de classificações, é óbvio que a sistemática possui um maior foco em padrões. Porém, isso não significa necessariamente que seu ensino deve se dar de forma destacada dos processos que os geram. Esta tarefa é dificultada pela resistência que muitos livros didáticos ainda apresentam em fazer a transição do sistema de classificação proposto por Lineu para a sistemática filogenética.

O capítulo analisado aborda a biodiversidade e o sistema de classificação dos seres vivos. Entre os 63 conteúdos conceituais identificados, apenas 3 se referem a processos e, mesmo assim, são processos estudados pela Biologia funcional. São feitas 9 referências aos principais níveis que compõem a classificação taxonômica (de reino a subespécie), além de outros 11 componentes sistêmicos pertencentes à Biologia funcional. Entre os padrões, foram 14 padrões da Biologia funcional (citados como características comuns aos representantes de um clado) e 26 referências a clados em nomes populares ou formais (usados unicamente como exemplos). Os clados podem ser considerados padrões, uma vez que os organismos que os compõem compartilham características geradas por processos históricos, em parte comuns.

O capítulo se limita a listar os componentes do sistema hierárquico de classificação de forma desconexa com o conteúdo relativo à biologia evolutiva em si mesma. Assim, ao serem apresentados conceitos como gênero e outros níveis mais abrangentes, apenas o padrão de existência de características comuns em variados graus de exclusividade é citado, fazendo uso de padrões da Biologia funcional, como, por exemplo, “heterotrofia”, “pluricelularidade” e “procariontes”. A relação entre o grau de abrangência do nível taxonômico e a natureza mais recente ou remota do ancestral comum do grupo não é considerada. O padrão de descendência com modificação e o processo de cladogênese não são abordados. Assim, a ideia de que as características comuns a dois grupos se devem à ancestralidade comum não é explicitada.

Zoologia

Em geral, o ensino de zoologia no nível médio se limita ao estudo da morfologia e anatomia dos grupos abordados, sendo uma disciplina fortemente centrada em componentes sistêmicos. É comum encontrar características sendo apontadas como adaptações para algum modo de vida, sem que sejam feitas, porém, referências aos processos que as originaram. Como adaptações são características originadas por seleção natural (SOBER, 1993), a omissão dos processos que lhes causaram torna dúbia sua própria qualificação como adaptações.

O capítulo que analisamos trata da vida e diversidade dos cordados, trazendo 171 conteúdos conceituais. Dos 20 processos citados, apenas um seria supostamente pertencente à Biologia evolutiva: “adaptação” é citada como um processo em si, no sentido de adequação, e não co-

mo característica resultante de um processo de seleção natural. Os componentes sistêmicos totalizaram 108 conteúdos conceituais. Já os padrões somaram 43, sendo 15 pertencentes à Biologia funcional e o restante referente a denominações formais ou informais de clados.

Aqui é válido mencionar que muitos dos conceitos referentes a processos e a componentes sistêmicos são estudados em outros capítulos com mais detalhes. Neste capítulo, a maior parte deles é apresentada apenas como forma de caracterizar grupos taxonômicos através do compartilhamento de características (“desenvolvimento direto”, “fecundação interna” etc.), principalmente no nível de filo, sendo muitos deles grupos merofiléticos (“peixes” e “répteis”, por exemplo). Porém, os processos evolutivos que geraram os clados citados não são abordados. O mesmo acontece quando se fala nas inovações evolutivas que cada clado apresenta.

Conceitos estruturantes baseados em processos e padrões

Em linhas gerais, os capítulos analisados não dão suficiente atenção aos processos, priorizando a listagem de componentes sistêmicos de forma estática no tempo e a descrição de padrões cujas origens não são explicitadas. Isso mostra, de imediato, uma abordagem fragmentada da Biologia, que não cria condições para que os estudantes compreendam um dos principais atributos dos sistemas vivos, sua natureza dinâmica.

Torna-se clara a necessidade de que o ensino de Biologia dê mais ênfase à descrição de processos, que serviriam para a identificação de conceitos estruturantes que facilitassem o entendimento dos padrões e componentes sistêmicos. Tendo um determinado processo em mente, poderíamos identificar seus componentes e apresentar aos estudantes apenas o essencial para o seu entendimento, evitando que mencionarmos componentes inúteis e reduzindo o número de conteúdos conceituais. Isso diminuiria a tendência de o estudante apenas decorar nomes e definições fora de um contexto que lhes dê significados mais precisos e úteis.

A seguir, proporemos formas de modelar os processos que levam aos padrões abordados nos capítulos analisados acima. Utilizaremos os princípios fundamentais das cinco teorias propostas por Scheiner (2010) para explicitar os conceitos potencialmente estruturantes durante o estudo destes processos.

No caso do capítulo de ecologia, o padrão a ser explicado é a taxa de crescimento de uma população, sendo a própria população o nível de análise. Os princípios fundamentais envolvidos pertencem à teoria da ecologia e, neste caso, são os seguintes: “organismos interagem com o meio biótico e abiótico”, “os recursos são finitos e heterogêneos no espaço e no tempo” e “taxas de natalidade e mortalidade são consequências de interações com o ambiente biótico e abiótico” (*ibid*, p. 304). Podemos dizer que os principais conteúdos conceituais a serem aprendidos são “limitação de recursos” e “interação”. O capítulo traz todos estes elementos, mas falha em dar uma visão abrangente sobre como eles interagem entre si. Ou seja, o conjunto de relações que constituem o processo de crescimento populacional, mostrado na Figura 1, não é apresentado de modo sistemático e coerente. Assim, deixam-se de fora as ideias de autorregulação e de mecanismos de retroalimentação, que são também dois conceitos importantes para a compreensão da dinâmica de populações.

No capítulo sobre sistemática, o foco está não em descrever um nível de um sistema, mas em descrever o sistema de classificação em si, que é baseado em um padrão hierárquico de ancestralidade comum. Aqui, dois princípios fundamentais da teoria da evolução se fazem presentes: “espécies originam outras espécies” e “todos os organismos são conectados por descendência comum” (*ibid*, p. 294). Além do próprio conceito de “descendência comum”, o conceito de “cladogênese” tem papel estruturante (Figura 2).

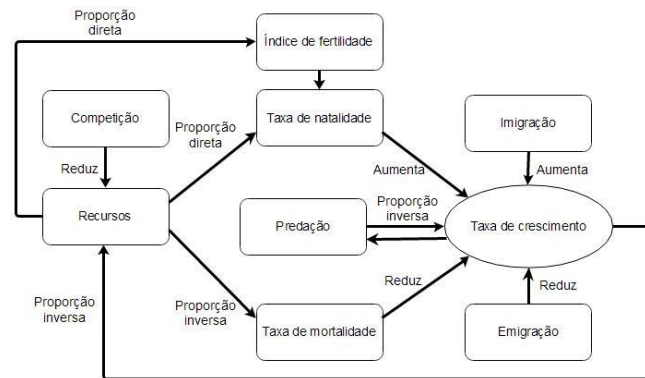


Figura 1: Esquema simplificado de processos que determinam a taxa de crescimento de uma população.

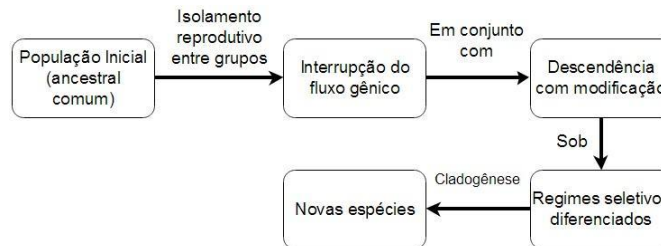


Figura 2: Esquema simplificado de processos que geram o padrão de ancestralidade comum.

Para o capítulo de zoologia, seria importante mudar o foco da simples descrição de clados para os processos que os geram (Figura 3). Para isso, usamos inicialmente princípios fundamentais da teoria de organismos: “heterogeneidade de recursos no espaço e no tempo levam a variações na ontogenia e padrões históricos da vida” e “as propriedades dos organismos são resultado da evolução” (*ibid*, p. 302). Usamos também princípios da teoria da evolução: “as características dos organismos mudam com o passar das gerações”, “espécies originam outras espécies” e “a mudança evolutiva é causada primariamente pela seleção natural” (*ibid*, p. 294). Aqui, os conceitos estruturantes seriam “variação”, “adaptação”, “seleção natural”, “pressão seletiva”, “cladogênese”, “especiação” e “isolamento reprodutivo”.

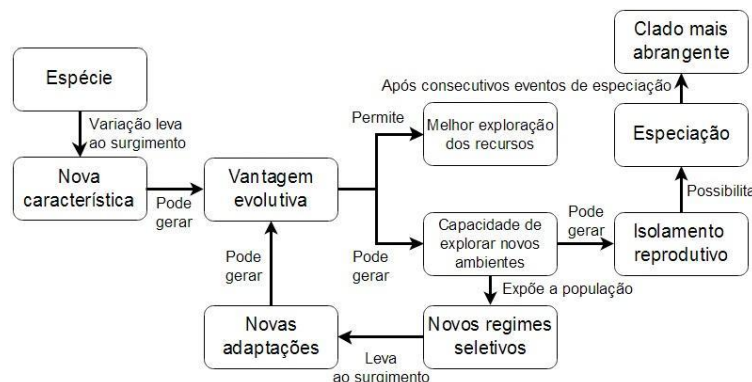


Figura 3: Esquema simplificado de processos que geram novos clados.

O processo de surgimento de um clado poderia então ser abordado na forma de uma narrativa descrevendo o processo (para mais detalhes sobre as características de uma narrativa, ver Richards, [1998]). A conquista do ambiente terrestre pelos tetrápodes é um tema comum nos livros de ensino médio que poderia ser explorado nesse sentido, mas são apenas citadas características envolvidas, sem que o processo seja devidamente explorado. Para que isso seja realizado com sucesso, a história do surgimento dos primeiros tetrápodes deveria abordar as variações morfológicas que lhes permitiram sair da água (e sua origem ontogenética a partir de

características pré-existent), bem como as vantagens evolutivas que isso lhes trouxe e a que novas pressões seletivas foram submetidos no ambiente terrestre, levando, assim, ao surgimento de outras adaptações. Deve-se enfatizar, também, que mais vantagem na exploração de recursos é um dos fatores que permitiu uma maior diversificação daquele clado.

Considerações finais

Ao priorizarmos um equilíbrio entre padrões, processos e componentes sistêmicos, esperamos ter mais um critério claro para a seleção de conteúdos conceituais de Biologia. Admitimos que nem todos os processos e padrões estudados pela Biologia possuem grande influência para a compreensão da lógica interna desta ciência pelos estudantes do ensino médio. A escolha daqueles que possuam maior impacto nos permitira reconhecer quais componentes sistêmicos são fundamentais a sua compreensão, possibilitando a redução da carga de conteúdos conceituais expostos aos estudantes, mitigando, assim, os problemas do excesso de conteúdo.

Devemos ressaltar, porém, que o objetivo de nossa proposta não é a criação de um currículo completo, visto que ela se destina apenas a conteúdos conceituais que estejam em acordo com o conhecimento de referência acadêmico. Não descartamos a importância da inclusão de conteúdos atitudinais e procedimentais, não contemplados nessa proposta, e de discutir a validade social dos conteúdos ensinados.

Referências

- AYUSO, G. E.; BANET, E. Alternativas A La Enseñanza De La Genética En Educación Secundaria. **Enseñanza De Las Ciencias**, v. 20, n. 1, p. 133-157, 2002.
- CARVALHO, I. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Como Seleccionar Conteúdos de Biologia para o Ensino Médio? **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, p. 67-100, 2011.
- CRAVER, C. F.; BECHTEL, W. Mechanism. In SARKAR, S. & PFEIFER, J. (Eds.), **Philosophy of Science: an Encyclopedia**. New York: Routledge, p. 469-478, 2006.
- GAGLIARDI, R. Los Conceptos Estructurales en el Aprendizaje por Investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986.
- MAYR, E. **The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.
- _____. **Toward a new Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.
- _____. **Biologia: Ciência Única**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.
- RICHARDS, R. J. La Estructura de la Explicación Narrativa em Historia y Biología. In: MARTÍNEZ, S.; BARAHONA, A. (orgs). **Historia y Explicación em Biología**. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1998. p. 212-246.
- SALTHER, S. N. **Evolving Hierarchical Systems**. New York: Columbia University Press, 1985.
- SCHEINER, S. M. Toward a Conceptual Framework for Biology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 85, n. 3, p. 293-318, 2010.
- SOBER, E. **The Nature of selection: Evolutionary theory in philosophical focus**. Chicago-IL: The University of Chicago Press, 1993.