



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE
SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,
FILOSOFIA E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS**



ÍTALO NASCIMENTO DE CARVALHO

**UMA PROPOSTA DE CRITÉRIOS PARA SELECIONAR
CONTEÚDOS CONCEITUAIS PARA O ENSINO MÉDIO DE
BIOLOGIA**

Salvador
2016

ÍTALO NASCIMENTO DE CARVALHO

**UMA PROPOSTA DE CRITÉRIOS PARA SELECIONAR
CONTEÚDOS CONCEITUAIS PARA O ENSINO MÉDIO DE
BIOLOGIA**

Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História de Ciências como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre
Orientador: Prof. Dr. Nei Freitas Nunes-Neto
Coorientador: Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani

Salvador
2016

Nascimento de Carvalho, Ítalo

Uma proposta de critérios para selecionar conteúdos conceituais para o ensino médio de biologia / Ítalo Nascimento de Carvalho. – Salvador, 2016.
73 f.

Orientador: Nei de Freitas Nunes-Neto.

Coorientador: Charbel Niño El-Hani.

Dissertação (Mestrado - Programa de pós-graduação em ensino, filosofia e história das ciências) –

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física, 2016.

1. Educação. 2. Ensino de biologia. 3. Currículo. 4. Biologia funcional. 5. Biologia evolutiva. I. de Freitas Nunes-Neto, Nei. II. Niño El-Hani, Charbel. III. Título.

Uma proposta de critérios para selecionar conteúdos conceituais para o ensino médio de biologia

Acadêmico: Ítalo Nascimento de Carvalho

Dissertação apresentada em 11 de agosto de 2013 ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História de Ciências como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

Banca avaliadora:

Prof. Dr. Nei de Freitas Nunes-Neto (Orientador)

Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani (Co-orientador)

Prof. Dr. Marco Antonio Leandro Barzano

Prof. Dr. Gustavo Andrés Caponi

Profa. Dra. Daniela Lopes Scarpa

Sumário

RESUMO	5
ABSTRACT	6
APRESENTAÇÃO.....	7
1 INTRODUÇÃO	10
2 OS CONCEITOS ESTRUTURANTES COMO PONTO DE PARTIDA	19
3 OS BENEFÍCIOS DE UMA ESTRUTURA TEÓRICA PARA O CONHECIMENTO BIOLÓGICO	25
4 EM DEFESA DE UM EQUILÍBRIO ENTRE A BIOLOGIA FUNCIONAL E A BIOLOGIA EVOLUTIVA	33
5 EM BUSCA DE UM SEGUNDO EQUILÍBRIO: COMPONENTES SISTÊMICOS, PROCESSOS E DESCRITORES NO ENSINO DE BIOLOGIA	38
6 SELECIONANDO CONTEÚDOS DE ECOLOGIA E EVOLUÇÃO	44
6.1 OS CONCEITOS ESTRUTURANTES DA EVOLUÇÃO	49
6.2 UMA PROPOSTA EMBRIONÁRIA PARA O ENSINO DE ECOLOGIA	56
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS	65
ANEXO A - A teoria da biologia e as cinco teorias gerais propostas por Scheiner e colaboradores e seus respectivos princípios fundamentais.....	71

RESUMO

Já se sabe que o excesso de conteúdos conceituais nos currículos de biologia do ensino médio é um obstáculo para uma aprendizagem bem sucedida. A grande quantidade de matéria nos currículos afeta a qualidade do ensino: afeta também a aprendizagem de conteúdos relacionados a práticas técnicas e métodos, assim como daqueles relacionados a valores, normas e atitudes. Mas mesmo que a necessidade de reduzir a quantidade de conteúdos conceituais tenha sido reconhecida há já mais de um século, há uma carência de discussões sobre critérios claros para a seleção do que deve ser mantido ou incluído nos currículos. Este trabalho se propõe a contribuir para esta questão identificando quatro critérios para a seleção de conteúdo conceitual. O primeiro é oferecer uma hierarquia de conceitos. Os conceitos abordados no ensino médio devem permitir ao estudante compreender a estrutura conceitual da biologia, incluindo os pontos de integração entre suas subáreas. Portanto, os conceitos que devemos priorizar no ensino devem preferencialmente possuir um papel estruturante na biologia. O segundo critério é que, para identificar estes conceitos, adotemos a moldura conceitual da biologia proposta por Scheiner. O terceiro é buscar um equilíbrio entre o número de conceitos relevantes para a biologia funcional e aqueles relevantes para a biologia evolutiva. Por fim, o quarto é manter um equilíbrio entre conceitos relativos aos componentes, conceitos relativos a processos e conceitos que descrevem propriedades e padrões encontrados nos sistemas biológicos e em classificações que criamos com base nestes sistemas. Se aplicados, estes critérios não apenas permitiriam que os estudantes compreendessem a estrutura conceitual da biologia, mas também lhes daria a capacidade de aprofundar seus conhecimentos desta ciência mesmo após concluírem o ensino médio. Com este artigo, pretendemos iniciar uma discussão sobre a seleção de conteúdos conceituais para os currículos de biologia do ensino médio, assim como fornecer subsídios para formadores de políticas educacionais, especificamente aqueles encarregados de estabelecer objetivos curriculares.

Palavras-chave: ensino de biologia, currículo, conteúdos conceituais, conceitos estruturantes, biologia evolutiva, biologia funcional.

ABSTRACT

It is by now well-established that the excess of conceptual contents in high school biology curricula is an obstacle to successful learning. The sheer quantity of materials in curricula affects the quality of the teaching: it also affects the learning of contents related to procedures, technics and methods, as well as those related to values, attitudes and norms. While the need for reducing the amount of conceptual content has been acknowledged for more than a century, we lack discussions about clear criteria for guiding the selection of what should be kept or included in curricula. The present paper proposes to contribute to this issue by identifying four criteria for selecting conceptual contents. The first one is to provide a hierarchy of concepts. The concepts taught in high school should enable students to understand the conceptual structure of biology, including contact points among its subareas. Hence concepts that should be prioritized in teaching must preferably play a structuring role in biology. The second one is that, in order to identify these concepts, we adopt the conceptual framework for biology proposed by Scheiner. The third one is aiming for a balance between the number of concepts relevant to functional biology and those relevant to evolutionary biology. Lastly, the fourth one is keeping a balance among concepts concerning systemic components, concepts concerning processes and those which describe properties and patterns found in biological systems and classifications. If applied, these criteria could not only help to enable students to understanding the conceptual structure of biology, but also would provide them the capacity to deepen their knowledge of biology, even after they exit high school. With this paper, we intend to start a discussion on the selection of conceptual content for high school biology curricula in academic sphere, as well as providing subsidies for educational policy makers, specifically those concerned with curricular goals.

Keywords: biology teaching, curriculum, conceptual content, structuring concept, evolutionary biology, functional biology.

APRESENTAÇÃO

A história deste trabalho tem início em meados de 2006, quando eu cursava o primeiro semestre da graduação em ciências biológicas na Universidade Federal da Bahia. Ao assistir uma aula do professor Charbel, uma simples frase me chamou atenção. É impossível para mim recordar as palavras exatas, mas o sentido geral era de que compreender o conceito de gradiente era essencial para todos que quisessem ser bons biólogos. Naquela época eu já estava um tanto ciente do problema que era a enorme quantidade de conceitos que um estudante do ensino médio tinha que aprender nas aulas de biologia. Ora, eu mesmo um desses estudantes até pouco menos de um ano antes! E, ainda no ensino médio, eu tentava evitar sobrecarregar minha memória com tantas novas palavras e buscava identificar aquelas que eram realmente importantes e que teriam mais utilidade para que eu conseguisse entender a biologia que me era ensinada. E ao ingressar no ensino superior ouço exatamente alguém falando do quanto determinado conceito é essencial.

Ao ouvir a fala de Charbel, percebi que no meio acadêmico talvez houvesse lugar para a minha ideia de que algumas coisas eram mais merecedoras de atenção do que outras para que alguém aprenda biologia. Esta impressão permaneceu como nada mais do que uma suspeita por mais três anos e meio, até que chegou o momento de pensar em um tema para meu trabalho de conclusão de curso. Após ter participado de um projeto de iniciação científica por dois anos no Laboratório de História, Ensino e Filosofia da Biologia (então chamado ainda de Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas), a escolha natural foi desenvolver minha pesquisa para a monografia neste mesmo laboratório. Para minha surpresa, não só descobri que minhas suspeitas estavam corretas, como o próprio Charbel tinha planos de trabalhar em algo parecido em parceria com o (agora professor) Nei, então estudante de doutorado. Enquanto eu tinha apenas uma vaga ideia de projeto que envolvia buscar os conceitos mais importantes que um biólogo precisava conhecer, Charbel e Nei tinham um projeto mais bem estruturado e com implicações para o ensino: desenvolver maneiras de identificar os conceitos que devem compor o currículo de biologia do ensino médio de modo a reduzir a quantidade de conteúdos ensinados.

Aceitando o direcionamento que me foi apresentado e sob a orientação de Nei e coorientação de Charbel, dei o primeiro passo em uma jornada. Antes mesmo da defesa da monografia (já escrita em formato de artigo acadêmico), nós a publicamos sob o título de "Como selecionar conteúdos de biologia para o ensino médio?". O trabalho trazia uma estimativa do número de conceitos ensinados nos três anos de ensino secundário no Brasil com base nas obras aprovadas na edição de 2007 do Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) – um dado até então inédito, pelo que sabíamos – e que confirmou a impressão geral de que se ensina de mais. Além disso, trazia uma discussão inicial de critérios que poderiam ser adotados para selecionar os conceitos mais importantes a serem ensinados e aprendidos.

Alguns meses depois, já com meu diploma de bacharel assegurado, eu ingressei no mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Era natural dar continuidade ao trabalho iniciado na graduação e aqui está o resultado. Esta dissertação, como era de se esperar, aprofunda as discussões iniciadas em meu TCC, mas, além disso, a expande, incluindo elementos ausentes na proposta anterior. Continuamos defendendo que devemos priorizar o ensino de conceitos estruturantes (GAGLIARDI, 1986) para promover maiores impactos na aprendizagem dos estudantes; que a moldura conceitual proposta por Scheiner (2010) é um bom ponto de partida para identificarmos os conceitos estruturantes da biologia; e que devemos buscar um equilíbrio entre os conceitos que permitem a compreensão da biologia funcional e os que permitem a compreensão da biologia evolutiva (MAYR, 1961, 2005, 2008; CAPONI, 2001, 2008, 2013). Como novidade, trazemos a ideia de que devemos olhar mais atentamente a que estes conceitos se referem: se aos componentes dos sistemas vivos, aos processos realizados por estes ou a ideias das quais nos valem para descrevê-los. Integramos os quatro critérios e propomos alguns dos conceitos estruturantes da biologia como um todo, além de trazermos uma lista inicial de quais seria os conceitos estruturantes da evolução e de ideias embrionárias para a seleção de conceitos estruturantes para o ensino de ecologia.

Sendo um trabalho puramente teórico (ainda que com implicações práticas), nosso objetivo aqui não é construir um currículo completo de biologia para ser imediatamente aplicado em sala de aula (embora façamos alguns comentários sobre como nossa proposta influenciaria no trabalho dos

docentes), mas estimular discussões no âmbito acadêmico e fornecer subsídios para políticas públicas de currículo em um nível nacional. Não negando a importância dos atores do sistema educacional em todos os níveis, esperamos também, futuramente, envolver os docentes nessa discussão, buscando contribuições que, certamente, seu conhecimento prático fornecerá. Este objetivo influenciou em nossa decisão de escrever a dissertação já na forma de artigo acadêmico, assim como foi meu TCC. Duke e Beck (1999) apontam diversas vantagens deste formato que contribuem para justificar nossa posição: facilitar o acesso ao público interessado no trabalho, uma vez que dissertações nem sempre são disponibilizadas em repositórios acessíveis ou divulgadas; permitir aos autores escreverem textos mais curtos que poderão ser mais rapidamente lidos por profissionais práticos que não possuem muito tempo disponível para levantamento bibliográfico e leitura (incluindo aí professores); e evitar que os autores tenham que reescrever o texto após a defesa, acelerando o processo de publicação.

Porém, o trabalho certamente não terminará com a publicação desta dissertação. Qualquer leitor mais atento perceberá que nossa proposta abre diversas possibilidades de pesquisa, tanto teóricas quanto práticas. Certamente, esperamos que estas possibilidades sejam exploradas não apenas por nosso próprio laboratório, mas também por outros pesquisadores em outras instituições e, por que não, por docentes em atividade. Convidamos todos os interessados a se juntarem a nós nessa jornada. Sigamos em frente.

1 INTRODUÇÃO

Em algum momento de suas carreiras, muitos professores e professoras de alguma ciência da natureza no ensino médio se deparam com o seguinte problema: o tempo escolar é insuficiente para abordar de maneira adequada toda a quantidade de conteúdos que o currículo da disciplina exige. Não só os docentes, mas também os discentes têm consciência, em algum grau, desse problema: não é difícil encontrar estudantes que reclamem da grande quantidade de nomes e fatos que devem aprender e que se declarem desmotivados com as disciplinas. Em parte, o excesso de conteúdos é o que leva muitos desses estudantes a se esforçarem para memorizar nomes, fatos e enunciados com o único objetivo de serem aprovados nas avaliações, esquecendo pouco tempo depois muito do que estudaram.

No âmbito acadêmico, a questão da quantidade de conteúdos também não passa despercebida. Em apenas um parágrafo, Matthews (1994) esboça um panorama de quase um século de pesquisadores que a reconheceram: já no final do século XIX, Mach (1895 [1986], *apud* MATTHEWS, 1994) alertava para os riscos de inflar os currículos; um relatório do *American Council on Education*, em 1940, reconhecia que os currículos dos cursos de ciências naturais correspondiam a listas enciclopédicas que enchiam a memória com fatos, mas não estimulavam o pensamento científico (HURD, 1961 *apud* MATTHEWS, 1994); Yager (1984, *apud* MATTHEWS, 1994) alertou que os estudantes são expostos, em um ano de ensino de ciências, a mais termos técnicos do que em dois anos ou mais estudando uma língua estrangeira; Fisher (1992, *apud* MATTHEWS, 1994) apresentou um relato de um estudante que comparou um livro didático de geociências com um dicionário.

O próprio Matthews afirma que seria mostrado aos estudantes um novo conceito a cada dois minutos de uma aula de ciências naturais, já que um livro didático típico (contendo de 300 a 350 páginas) chegaria a trazer de 2400 a 3000 novos termos. É possível percebermos que o ensino de biologia está incluso neste quadro geral. Em um trabalho anterior (CARVALHO *et al.*, 2010), estimamos que, no Brasil, em três anos de ensino médio, devem ser expostos aos estudantes

aproximadamente 3.290 conceitos¹, ou um conceito a cada três minutos e meio², aproximadamente, se considerarmos os conceitos presentes nos livros didáticos. Não é difícil percebermos que mais de 120 anos não foram suficientes para atender ao alerta de Mach.

Outro problema é a fragmentação do conteúdo, visível no uso de uma abordagem frequentemente aplicada ao ensino médio de biologia é sua divisão em subáreas como a zoologia e a botânica, entre outros, sendo cada subárea apresentada isoladamente, sem que se mostrem as conexões com as outras - herança do tempo em que se ensinava não biologia, mas história natural e saúde humana, seguindo-se um período de ilusão de síntese iniciado após a inclusão da genética nos currículos (FERREIRA E SELLES, 2005). Tal abordagem se reflete em grande parte dos livros didáticos, que são subdivididos em seções temáticas que pouco variam entre as obras (ver, por exemplo, Lopes e Rosso, 2013, Mendonça, 2013, e Linhares e Gewandsznajder, 2013).

Esforços tem sido feitos para reestruturar os currículos e dar exemplos dos conceitos mais importantes a serem ensinados, mas as propostas apresentadas até o momento não são livres de críticas (como veremos na próxima seção), nem se aprofundam na discussão dos critérios utilizados na seleção destes conceitos. Antes de analisar estes esforços e propor novas soluções para estes problemas, é preciso analisar o que é um conceito e o que se considera como conteúdo. Quanto aos conceitos, Hardy-Valée (2013) os define resumidamente como ³

[...] universais abstratos, organizados sistematicamente, que aplicam a representação de propriedades invariantes de uma categoria a objetos particulares em função de um critério. O conceito serve diferentes funções epistemológicas (inferência, categorização, gnosiologia, linguagem) e metafísicas (taxonomia normativa e modalidade). (p. 20)

¹ Deve-se notar que, no trabalho citado, um conceito é entendido como uma palavra acompanhada de um significado em um determinado contexto. Isso implica admitir que uma mesma palavra pode ter significados diferentes (correspondendo a conceitos diferentes) a depender do contexto, mas também que várias palavras diferentes podem ter o mesmo significado (correspondendo todas ao mesmo conceito) em determinado contexto. Tendo em vista este segundo caso, termos que redundavam em um mesmo significado foram contabilizados como apenas um conceito. Não se sabe se a estimativa oferecida por Matthews levou isso em conta. Assim, embora os números mencionados nos dois trabalhos sejam, a princípio, comparáveis, talvez não seja possível dizer que são equivalentes. De qualquer modo, são ambos alarmantes.

² Este cálculo foi feito considerando duas aulas semanais de 50 minutos cada, com 40 semanas por ano durante três anos de 200 dias letivos cada (sendo estes dias o mínimo exigido pela Lei de Diretrizes e Bases). O tempo consumido com aplicação de atividades e avaliações, além de procedimentos como a realização de chamadas e organização dos estudantes na sala de aula, não foi deduzido do tempo total calculado.

³ O próprio autor admite que tal resumo tem suas falhas, ainda que seja um bom ponto de partida. Porém, uma vez que nosso objetivo aqui não é nos aprofundarmos nas discussões filosóficas sobre conceito, ele oferece as noções básicas necessárias para o que nos interessa.

Nesta definição, estão presentes cinco aspectos de um conceito: o invariante (o conceito tem caráter universal e indica propriedades que não variam entre as entidades particulares às quais se refere), o critério (a regra que possibilita incluir uma entidade particular na categoria à qual o conceito se refere), a aquisição (uma vez que o conceito é uma representação abstrata, esta abstração pode ser adquirida por diferentes meios), a organização (as coisas podem ser agrupadas em categorias, que podem, por sua vez, ser agrupadas em categorias mais abrangentes) e a função (ou para que serve um conceito, seja do ponto de vista metafísico ou epistemológico). Os diversos aspectos são tratados de diferentes maneiras a depender da teoria de conceitos que os aborde, mas não nos debruçaremos sobre estas diferenças aqui. Na próxima seção, porém, trataremos de uma abordagem que define nosso posicionamento sobre os aspectos da aquisição, da organização e das funções dos conceitos.

Tratando agora dos conteúdos, Zabala (1998) afirma que o termo “conteúdo” é tradicionalmente entendido, de forma estreita, como “[...] conhecimentos das matérias e disciplinas clássicas e, habitualmente, para aludir àqueles que se expressam no conhecimento de nomes, conceitos, princípios, enunciados e teoremas” (p. 30). Este autor defende que, em vez disso, devemos considerar como conteúdo “tudo quanto se tem que aprender para alcançar determinados objetivos que não apenas abrangem as capacidades cognitivas, como também incluem as demais capacidades” (Zabala, 1998, p. 30), entre estas as capacidades motoras, afetivas, de relação interpessoal e de inserção social.

Zabala segue afirmando que, das muitas classificações das capacidades humanas presentes na literatura, aquela proposta por Coll e colaboradores (1992) é a que atinge um maior equilíbrio ao especificar que tipos de conteúdos podem ser abordados para estimulá-las, ao mesmo tempo em que não perde de vista as inter-relações entre tais capacidades. Segundo estes autores, os conteúdos escolares podem ser divididos em⁴:

⁴ Talvez seja mais correto pensar esta classificação não como uma tipologia em que cada conteúdo se encaixa total e exclusivamente em uma das categorias, mas como uma descrição das diferentes dimensões que determinado conteúdo pode assumir de acordo com os objetivos de ensino. Assim, um mesmo conteúdo poderia ser tratado com

1. Conceituais: são os conteúdos em que pensamos quando desejamos responder à pergunta “o que se deve saber?”. Subdividem-se em fatos (que se referem a singularidades, com caráter descritivo e concreto), conceitos (que se referem a conjuntos com características comuns a seus integrantes) e princípios (mudanças que ocorrem em uma entidade em relação a outras).
2. Procedimentais: são os conteúdos que podem ser aventados quando tentamos responder à pergunta “o que se deve saber fazer?”. Dizem respeito a qualquer ordenação de ações com o objetivo de atingir um fim, sejam essas ações motoras ou cognitivas, em pequeno ou em grande número, com sequência rígida (algoritmo) ou variável (heurística).
3. Atitudinais: são os conteúdos que servem de resposta à pergunta “como se deve ser?”. Subdividem-se em valores (ideias éticas que permitem às pessoas julgarem condutas e o sentido das mesmas), atitudes (tendências que um indivíduo apresenta a agir de certa forma e que se mantêm relativamente estáveis ao longo do tempo) e normas (regras de comportamento que todos os membros de um grupo social devem seguir em determinadas situações).

Neste trabalho, nos concentraremos apenas em uma destas categorias: a dos conteúdos conceituais. Mais especificamente, trataremos de conteúdos conceituais relativos à biologia, considerando sua estrutura conceitual enquanto ciência. Conceitos pertencentes a outras ciências (como a química e a paleontologia) nos interessarão apenas quando de especial relevância para o pensamento biológico.

Tendo em vista nossa decisão, é válido ressaltarmos que ela busca unicamente manter o foco de nosso esforço. Concordamos com Coll e colaboradores em que os conteúdos conceituais não

maior ênfase na dimensão conceitual em determinadas situações, (deixando em segundo plano as outras duas dimensões), enquanto em outras ocasiões o enfoque recairia sobre a dimensão procedimental (com a dimensão conceitual recebendo menor atenção, juntamente com a atitudinal), por exemplo. Porém, utilizamos a visão tipológica na presente oportunidade por a considerarmos de mais fácil compreensão tendo em vista nosso objetivo. Não desconsideramos a possibilidade de, futuramente, assumir completamente a perspectiva dimensional.

devem ser considerados os únicos merecedores de atenção no ensino de ciências. Não nos dedicaremos aqui a discutir a importância das outras duas categorias, apenas ressaltamos que a relevância de nenhuma delas deve ser esquecida ou subestimada. Além disso, é apropriado mencionar que não ignoramos a importância da inclusão (ou explicitação do que está normalmente presente de forma implícita no currículo oculto) de conteúdos que não dizem respeito direta e/ou exclusivamente à biologia no currículo da disciplina, sejam eles conceituais, procedimentais ou atitudinais. Temas como história e filosofia da ciência (incluindo questões como a natureza do conhecimento e do fazer científicos), ética, cidadania, entre muitos outros, devem, a nosso ver, ser abordados em sala de aula. Porém, novamente, não nos ocuparemos de discutir tal relevância mais profundamente na presente oportunidade. Estes temas merecerão análises mais aprofundadas em trabalhos futuros, que se inserem na concepção abrangente do currículo que temos adotado em muitos trabalhos de nosso grupo de pesquisa. Em suma, o presente trabalho tem seu lugar no âmbito de uma empreitada mais abrangente, cuja construção em longo prazo será uma contribuição para o currículo no sentido de sua concepção de modo amplo, nas três dimensões apontadas.

O que devemos ter em mente é que o excesso de conteúdos conceituais da biologia não apenas é prejudicial à aprendizagem deles mesmos: uma vez que os docentes dedicam a maior parte do tempo escolar a seu ensino, eles podem dedicar pouco ou nenhum tempo para os outros tipos de conteúdos, ou ainda ensiná-los de forma implícita, desestruturada, pouco refletida, e, portanto, de maneira ingênua ou problemática para a formação dos estudantes. Assim, reduzir a quantidade de conteúdos conceituais possui importância estratégica por permitir também que os docentes tenham maior liberdade para tratar dos conteúdos procedimentais e atitudinais.

Contudo, reconhecer a necessidade de reduzir a quantidade de conteúdos conceituais no currículo de biologia (e decidir fazê-lo) é menos problemático do que de fato realizar esta tarefa. Ainda que alguns passos tenham sido dados em direção ao cumprimento deste objetivo, têm sido pouco discutidos na literatura critérios explícitos e bem definidos, que orientem a seleção de conteúdos a integrar o currículo. O objetivo deste trabalho, então, é contribuir para essa discussão através da proposição de alguns critérios básicos, não arbitrários, que possam ser abertamente discutidos e aprimorados. Esses critérios podem ser aplicados não só com o objetivo de selecionar o

que é importante aprender em biologia, mas também de selecionar conteúdos que permitam uma visão integrada desta ciência, auxiliando os estudantes a perceberem conexões entre suas subáreas. Desta forma, não apenas podemos diminuir a carga de conteúdos conceituais, mas também reestruturar o currículo de biologia.

Fica claro que, ao estabelecermos este objetivo, nos comprometemos com uma visão do currículo que não só considera os conteúdos conceituais como imprescindíveis, mas também os enxerga como um dos alicerces sobre os quais o currículo deve ser construído. Isso se dá por priorizarmos, no presente trabalho, o estabelecimento de certa proximidade entre o conhecimento científico de referência e o conhecimento a ser ensinado, levando em conta os processos de transposição didática aí envolvidos e salvaguardando o que Chevallard (1991) denominou “vigilância epistemológica”.

Chevallard entende a transposição didática *lato sensu* como o conjunto dos processos de modificação pelos quais o conhecimento passa ao ser selecionado para ser ensinado, desde a escolha de um objeto de saber (pertencente ao conhecimento de referência), que passa a ser, num primeiro momento, um objeto a ensinar e, num segundo momento, num objeto de ensino. Em cada momento, são feitas modificações no conhecimento que permitem que ele seja ensinado, mas que implicam o risco de que o que é efetivamente ensinado não seja o que se objetivava ensinar. A vigilância epistemológica, então, seria uma postura que visa garantir que o conhecimento não seja descaracterizado a ponto de não ser mais reconhecido como algo referente ao objeto de saber. Ela preservaria a legitimidade epistemológica do saber a ser ensinado (GUIMARÃES *et al*, 2008). Esta legitimidade é colocada em primeiro plano no presente trabalho, para dar conta de nosso objetivo. Isso não implica negligenciar outras fontes de legitimidade, a exemplo da legitimidade social dos conteúdos, mas apenas delimitar o objeto de estudo que estamos assumindo. Afinal, buscamos discutir quais conteúdos conceituais devem ser incluídos no currículo do ensino médio, como objetos de saber que devem, posteriormente, tornar-se objetos a ensinar, tendo em vista a estrutura do conhecimento biológico. Mais abaixo, teceremos breves comentários acerca da transformação destes em objetos a serem ensinados (ou da transposição didática *strictu sensu*), mas não analisaremos este processo em maiores detalhes.

Em suma, mesmo priorizando a legitimidade epistemológica, não desconsideramos outros fatores que justifiquem a inclusão de determinados conteúdos perante a sociedade e seus diversos integrantes, ou seja, sua legitimidade social (GUIMARÃES *et al*, 2008). Tampouco negamos a importância do que se pode chamar de legitimidade axiológica, relacionada aos caracteres éticos e políticos envolvidos na seleção de conteúdos, incluindo aí os valores e interesses dos atores envolvidos nos diversos níveis de criação, comunicação e ensino do conhecimento científico (em convergência com o que diz Clément (2006) ao falar do papel desempenhado pelo conhecimento, valores e práticas no processo de transposição didática).

Não se trata, pois, de subordinar uma validade a outra em termos de importância, mas de perceber como elas se apresentam em conjunto. Ao mesmo tempo em que os conteúdos conceituais contribuem para o currículo fornecendo solidez e sofisticação intelectual, não podemos negar sua relevância social, axiológica, ética e política (bem como a relevância dos conteúdos procedimentais e atitudinais no tocante a estes quatro aspectos). Nosso foco sobre a vigilância epistemológica no processo de seleção de conteúdos conceituais decorre de estarmos interessados em como se poderia fornecer aos estudantes as condições necessárias para que compreendam a estrutura conceitual da biologia. É importante ter isso em conta porque o ensino médio é o último momento de educação formal em que muitos estudantes terão contato com a biologia e, sendo esta uma ciência que tem implicações cada vez mais importantes para a vida contemporânea, é a última oportunidade de preparar muitos cidadãos para que sejam capazes de compreender o conhecimento biológico e fazer julgamentos acerca de suas implicações para a vida individual e social.

Antes de prosseguirmos, devemos deixar claro que abordagem do currículo adotaremos. Saylor e Alexander (1974 *apud* MOREIRA & AXT, 1986) identificam pelo menos quatro conceitos de currículo: o de matéria de ensino, o de experiências que o aprendiz tem na escola, o de objetivos a serem alcançados, e o de planejamento. Esses conceitos, obviamente, não são mutuamente exclusivos e dialogam entre si. Porém, neste trabalho, adotaremos prioritariamente a ideia de currículo como objetivos, o que implica entender o currículo em termos dos fins que deverão ser atingidos por meio da instrução em si. Mais especificamente, estamos focados, no presente trabalho,

sobre objetivos relacionados aos conteúdos conceituais de biologia que os estudantes devem saber ao terminar o ensino médio.

Em alguns momentos, porém, trataremos de pontos que estão na interface entre esta concepção e a concepção de currículo como matéria de ensino (conteúdo a ser ensinado pelo docente e aprendido pelos estudantes). Além disso, como será mais bem elaborado abaixo, nosso intento é dialogar com os níveis mais abrangentes do sistema educacional no que diz respeito à construção de currículos, impactando políticas curriculares governamentais aplicáveis a um nível nacional. Teceremos breves considerações sobre o nível menos abrangente (*i.e.*, o trabalho docente), mas ele não constitui nosso foco neste trabalho.

Nossa decisão de abordar o currículo do ponto de vista do conteúdo entra em consonância com as críticas de Michel Young ao campo dos estudos curriculares. Segundo este autor (YOUNG, 2013), a teoria de currículo perdeu o foco sobre o que se ensina e se aprende na escola ao mudar de um modelo tecnicista de instrução para uma crítica ideológica. Young (2014) propõe uma recuperação do papel normativo do currículo (referente às regras ou normas que orientam a elaboração e a prática do currículo) e sua conciliação com o papel crítico (que analisa as premissas, os pontos fortes e os pontos fracos dos currículos), devendo haver investigações sobre como a seleção, o sequenciamento e a progressão de conhecimentos incluídos no currículo são influenciados pela própria estrutura do conhecimento, por um lado, e pela estrutura dos interesses sociais, pelo outro. Nosso trabalho, portanto, retoma o enfoque sobre a estrutura do conhecimento biológico sem, no entanto, negar a importância de considerações críticas sobre o currículo. Assim, evitamos negligenciar qualquer um dos dois aspectos ao nos posicionarmos no âmbito de um projeto mais abrangente, de análise e construção de propostas curriculares sobre conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais.

Temos como ponto de partida, então, a seguinte questão: como selecionar conteúdos conceituais de biologia para o ensino médio de forma que 1) seu número seja reduzido; 2) os estudantes possam compreender a estrutura conceitual desta ciência, inclusive a articulação entre suas subáreas; e 3) os estudantes possam aprofundar seus conhecimentos de biologia, mesmo após concluírem o ensino médio. Como ponto de partida, nos debruçamos, na próxima seção, sobre uma

ideia que tem sido frequentemente defendida: a de ensinar as ideias mais gerais, ou princípios fundamentais, da biologia. Concluimos que, embora atraente, essa estratégia possui duas falhas: (1) a falta de clareza sobre o que é uma ideia geral ou um princípio fundamental; e (2) a ausência de uma visão sobre a estrutura conceitual do conhecimento biológico que nos permita comparar ideias, princípios ou conceitos que compõem esta estrutura e perceber quais são os mais básicos ou gerais. Defendemos, então, que a ideia de conceitos estruturantes (GAGLIARDI, 1986) captura de maneira apropriada o papel de destaque que desejamos dar a algumas ideias das ciências biológicas, sanando a primeira falha. Na terceira seção, discutimos sobre a importância da estruturação de um campo de conhecimento para seu ensino. Explicitamos como a moldura conceitual da biologia proposta por Scheiner (2010) contribui para a identificação dos conceitos estruturantes merecedores de destaque no ensino, oferecendo recursos para a solução da segunda falha. Além disso, esta moldura conceitual também nos permite identificar conceitos estruturantes que estabelecem conexões entre as subáreas da referida ciência, fornecendo bases para a reestruturar o currículo do ponto de vista do conhecimento a ser ensinado.

Considerando ainda insuficiente a abordagem acima descrita, na quarta seção, sugerimos como torná-la mais robusta ao discutirmos as consequências que o reconhecimento da natureza dual da biologia (uma ciência de caráter funcional, mas também histórica) possui para o desenvolvimento de um currículo desta ciência. Defendemos que, no ensino atual, há uma ênfase desproporcional (refletida no número de conceitos ensinados) no que Ernst Mayr (1961) chamou de biologia funcional, sendo que mais destaque deveria ser dado à biologia evolutiva, promovendo um equilíbrio no número de conceitos de cada área, o que permitiria aos estudantes compreenderem a importância da evolução para o pensamento biológico.

Na seção seguinte, mostramos como o ensino de biologia atual possui um grande enfoque em conceitos relativos a componentes sistêmicos, promovendo uma visão atomista e estática dos sistemas biológicos. Defendemos, então, que a seleção de conteúdos deve preconizar um segundo equilíbrio, um equilíbrio entre conceitos que representam componentes sistêmicos, os que representam processos e os que possuem papel descritivo. Tal equilíbrio permitiria não só a redução do número de conceitos relativos a partes dos sistemas vivos que se espera que os estudantes

aprendam, mas também facilitaria a compreensão destes sistemas como entidades dinâmicas, nas quais a mudança e a interação entre componentes é regra.

Na sexta seção, listamos um conjunto de conceitos que podem ser ensinados no ensino médio de biologia de acordo com nossos critérios, enfatizando as áreas de ecologia e evolução, como forma de exemplificar nossa proposta. Por fim, fazemos nossas considerações finais, retomando as principais conclusões do estudo.

2 OS CONCEITOS ESTRUTURANTES COMO PONTO DE PARTIDA

Podemos notar que diversas iniciativas visando reduzir a quantidade de conteúdos conceituais partem dos próprios docentes do ensino médio, enquanto outras advêm da esfera da pesquisa acadêmica, além de órgãos governamentais e instituições não governamentais ligados à educação. No âmbito escolar, constatamos que os docentes divergem quanto às estratégias para tentar adequar os conteúdos conceituais ao tempo disponível. Como exemplo, citamos duas delas: priorizar os conteúdos exigidos para os exames de entrada no ensino superior (*e.g.* Souza & Freitas, 2001) ou priorizar os conteúdos que suas experiências pessoais apontam como mais importantes (*e.g.* Vasconcelos & Souto, 2003, que citam o uso dessa abordagem para a seleção de conteúdos de zoologia). Mesmo não pretendendo desvalorizar o esforço dos docentes, não podemos deixar de apontar pelo menos dois problemas dessas abordagens.

Primeiramente, é questionável a validade de pautar todo um currículo com base nos testes de entrada para o ensino superior se aceitarmos que o objetivo do ensino médio não é apenas preparar os estudantes para mais este nível de educação formal (isso sem mencionar que nem todos os estudantes tentam o ingresso e, destes, nem todos se engajam em cursos que utilizam conhecimentos biológicos mais aprofundados).

Em segundo lugar, no tocante às experiências pessoais dos docentes, os conhecimentos por ela gerados possuem caráter situado (são indissociáveis dos contextos em que foram produzidas), não podendo, muitas vezes, ser aplicadas a outros contextos. Essas mesmas experiências muitas vezes não podem ser transpostas em conhecimento sistematizado e transferível para outros indivíduos, ficando limitadas a seus sujeitos originais. Isso, porém, não significa que o

conhecimento prático dos docentes deva ser rejeitado. Apenas entendemos que, se quisermos ter diretrizes para seleção de conteúdos que sejam largamente aplicáveis no sistema educacional, este conhecimento não é adequado se usado isoladamente⁵.

Chiapetta e Fillman (1998) mostram quantas outras visões diversas estavam presentes em profissionais de uma pequena amostra de sete coordenadores de disciplina de ciências⁶ na região metropolitana de Houston, Estados Unidos. Eles foram questionados sobre o que deve ser considerado para incluir conteúdos conceituais no currículo de biologia, tendo por base uma lista de sugestões com 65 tópicos das mais diversas áreas (e.g. ecologia de populações, moluscos, herança mendeliana).

Entre essas opiniões coletadas estão: não existem tópicos essenciais e os estudantes devem aprender os grandes conceitos e princípios biológicos e suas aplicações, estando aptos a se tornarem melhores cidadãos; deve-se ensinar um pequeno conjunto de oito a 12 tópicos pré-definidos de modo a incluir os grandes conceitos que os estudantes precisarão para a vida, mas não de maneira enciclopédica; e não há tópicos essenciais, mas eles são importantes não por si mesmos, e sim enquanto veículos para que os estudantes desenvolvam a compreensão de grandes ideias, temas ou esquemas conceituais da biologia.

Podemos perceber que os coordenadores divergem quanto aos objetivos do ensino de biologia (Formação de cidadãos, habilitação para práticas cotidianas ou compreensão da disciplina em si. Pode-se argumentar, no entanto, que esses objetivos não necessariamente são mutuamente excludentes) e no tratamento que o conhecimento biológico deve receber na sala de aula. Porém, todos concordam em algum grau que o importante é que os estudantes sejam capazes de reconhecer um quadro geral da disciplina.

Este posicionamento é consistente com diversos documentos curriculares construídos nos Estados Unidos na segunda metade do século XX. Entre eles estão o *Fulfilling the promise*

⁵ É possível unir os conhecimentos práticos (de natureza específica) dos docentes com o conhecimento abstrato (de natureza generalista) acadêmico. Consideramos que essa abordagem traz benefícios mútuos, mas não discutiremos isso em profundidade aqui.

⁶ No original, *science supervisors*.

(NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1990), o *Benchmarks for Science Literacy* (AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE, 2013) e o *National Science Education Standards* (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). Nenhum desses documentos pretende ser um currículo completo e pronto para ser aplicado em sala de aula, mas recomendam o ensino de determinados tópicos ou conceitos e enfatizam, em diferentes graus, a relevância de ensinar os conceitos mais importantes da biologia.

Embora haja superposição entre os conceitos apontados por eles, há também certa divergência. Por exemplo, o *Science for all americans* (que não trata os conteúdos de forma disciplinar) recomenda em suas referências⁷ sobre o mundo vivo o foco sobre tópicos como diversidade da vida (principalmente semelhanças e diferenças entre organismos), célula, herança, interdependência da vida e evolução. Já o *Fulfilling the promise* prescreve que se ensine como as partes dos organismos se relacionam de forma funcional, algo ausente no documento anterior. O *National Science Education Standards*, por sua vez, recomenda que tópicos importantes para todas as ciências naturais (como sistema, organização, mudança, constância, forma e função) sejam tratados, além de alguns tópicos das ciências biológicas também ausentes nos anteriores (como ciclo de vida e comportamento dos organismos). Uma vez que estes documentos não deixam claros os critérios que utilizaram para definir o que consideram como as ideias centrais da biologia e quais os conceitos mais importantes, não é possível afirmarmos com segurança o motivo dessas diferenças.

Uma situação semelhante é encontrada nos Parâmetros Curriculares Nacionais, os PCN (BRASIL, 2000). Na parte III deste documento, referente às ciências da natureza e à matemática, afirma-se que cada ciência possui, além de códigos intrínsecos e métodos próprios, uma lógica interna “que se expressam nas teorias, nos modelos construídos para interpretar os fenômenos que se propõe a explicar” (p. 14), sendo que a apropriação dos conceitos científicos é importante para a compreensão do mundo. A seguir, o documento lista diversos conceitos considerados importantes, como interação, equilíbrio dinâmico, diversidade, resiliência, sucessão ecológica, entre outros. Porém, em nenhum momento são explicitados os critérios pelos quais tais conceitos são considerados tão relevantes para compreender a lógica interna das ciências biológicas.

⁷ No original, *benchmarks*.

Esta nebulosidade se repete nos PCN+ (BRASIL, 2002), em que a lista é desenvolvida de forma integrada a temas estruturadores que levam em conta não apenas a lógica interna da biologia, mas também articulações entre ciência e sociedade (são eles: Interação entre os seres vivos, Qualidade de vida das populações humanas, Identidade dos seres vivos, Diversidade da vida, Transmissão da vida, ética e manipulação gênica, Origem e evolução da vida). Aqui é possível inferir que muitos dos conceitos são elencados por conta de seu papel para a compreensão de questões sócio-científicas, além de serem úteis para o desenvolvimento de competências por parte dos estudantes. Porém, nada mais é dito sobre sua relevância no pensamento biológico em si.

Na literatura acadêmica, encontramos outra proposta. Ayuso e Banet (2002), por exemplo, sugerem que o ensino de genética priorize os conceitos estruturantes desta área, seguindo a proposta de Gagliardi (1986), ideia que pode ser aplicada também a todas as outras áreas da biologia. Gagliardi define conceitos estruturantes: são aqueles que, uma vez aprendidos pelos estudantes, modificam seus sistemas cognitivos, permitindo-lhes adquirir novos conhecimentos de modo mais eficiente e, mais do que isso, transformando os conhecimentos adquiridos anteriormente.

Gagliardi fundamenta a ideia de conceitos estruturantes nas teorias de sistemas hierárquicos de restrições múltiplas (PATTEE, 1973) e de sistemas autopoieticos (MATURANA & VARELA, 1980). A partir da primeira, Gagliardi afirma que os conceitos não seriam entidades possuidoras de significado isoladamente, e sim o adquiririam ao serem integrados em redes com outros conceitos por meio do jogo de interações mútuas entre os elementos dessas redes. Olhando o sistema cognitivo também pela lente da segunda teoria, podemos enxergá-lo como um sistema que, ao se organizar como uma rede de processos de produção, transformação e destruição de componentes, produz concomitantemente a si mesmo e à própria rede, e, logo, às condições que possibilitam seu funcionamento.

A partir dessas ideias, Gagliardi deriva duas implicações sobre o funcionamento do sistema cognitivo: (1) o sistema cognitivo está em constante funcionamento, mantendo incessantemente sua dinâmica; e (2) as estruturas cognitivas consistem em redes de interação de conceitos, a partir das quais estes adquirem significado. Ao ser exposto a um novo conceito, o estudante o interpretaria, então, com base em suas experiências anteriores, que teriam moldado seu sistema de significação.

Um conceito estruturante seria aquele capaz de modificar esse sistema promovendo alterações significativas nas redes conceituais, tornando possível que o estudante aprenda coisas que antes ignorava e até mesmo que atribua outros significados às que já conhecia. É esta a visão sobre os aspectos da aquisição, organização e função dos conceitos que adotamos neste trabalho.

Essa abordagem possui uma vantagem sobre a simples denominação de uma ideia como “geral”, “principal” ou “fundamental”, pois evita que nos utilizemos apenas da intuição para reconhecer determinada ideia como importante para o ensino da biologia. Enquanto certas ideias (seleção natural, por exemplo) seriam reconhecidas como merecedoras de atenção por grande parte dos docentes e pesquisadores, outras seriam fonte de controvérsia (Chiapetta e Fillman (1998), por exemplo, incluem coevolução entre os tópicos enviados para avaliação pelos coordenadores, mas essa ideia não é mencionada em nenhum dos documentos curriculares citados acima).

Ao pensarmos em conceitos estruturantes, o que devemos procurar são aqueles conceitos que possuirão maior impacto sobre a rede de significados dos estudantes, de forma que construam as bases não só para a aprendizagem nos ambientes de educação formal, mas também fora deles. Devemos então nos perguntar que conceitos permitem que os estudantes compreendam uma maior quantidade de outros conceitos, levando em conta a estrutura conceitual da biologia, permitindo que o que for aprendido forme uma estrutura coerente em vez de apenas um conjunto de informações memorizadas que, aparentemente, não possuem muito sentido.

Aqui, um esclarecimento se torna necessário. Correa (2012) tece comentários acerca das ideias de Gagliardi, relacionando-as às de outros autores afins, e observa que os conceitos estruturantes podem ser entendidos desde três pontos de vista: um epistemológico (relativo à estrutura do conhecimento científico em si), um psicológico (relativo ao funcionamento do sistema cognitivo) e um didático (relativo ao planejamento, às decisões e às ações do docente em sala de aula). Esta observação lança luz sobre uma distinção que não foi feita de forma clara por Gagliardi em seu artigo de 1986, mas que fica, em parte, subentendida em sua redação. Ao sugerir que “[...] bastaria definir quais são os conceitos estruturantes de uma ciência, para poder definir os objetivos a alcançar nos diferentes cursos” (p. 32), Gagliardi estaria se referindo a um aporte epistemológico.

Um pouco adiante, ele afirma que “De acordo com a perspectiva construtivista, estes conceitos estruturantes seriam também construídos pelo aluno ao mesmo tempo em que constrói outros conhecimentos” (p. 32), deixando transparecer, assim, uma visão psicológica, para logo em seguida fazer um comentário que trás à tona, novamente, a visão epistemológica: “Os pontos do programa devem ser escolhidos em função desta construção” (p. 32). É esta visão epistemológica, aplicada à construção de currículos e à seleção de objetivos de aprendizagem relativos a conteúdos conceituais, que adotamos neste trabalho. Mais abaixo, algumas considerações serão feitas sobre as dimensões psicológica e didática (esta última não abordada por Gagliardi), mas elas não constituem nosso foco na presente oportunidade. Reconhecendo que há uma forte imbricação entre os três enfoques, optamos por tratar apenas dos questionamentos mais prementes que surgem nas esferas do psicológico e da didática ao nos posicionarmos na esfera do epistemológico.

Consideramos a estratégia de Gagliardi promissora. Porém, também a julgamos insuficiente se aplicada isoladamente. Podemos considerar que os critérios para seleção de conteúdos conceituais que integrarão o currículo se dividem em dois níveis. No primeiro nível temos um critério prioritariamente lógico, destacado de uma disciplina em particular e aplicável à construção de currículos de diversas áreas de conhecimento. É neste primeiro nível que se encontra a proposta de Gagliardi. Podemos, inclusive, ir um pouco além do que ele escreve e ressaltar uma característica dos conceitos estruturantes que fica implícita em seu texto, mas que deve ser explicitada se quisermos identificá-los: eles possuem uma relação de assimetria com outros conceitos. Isso significa que um conceito estruturante é necessário para a compreensão de um conceito não estruturantes e/ou da rede de conceitos em que ambos estão inseridos, enquanto o conceito não estruturante não é obrigatoriamente necessário, de um ponto de vista epistemológico.

A partir deste ponto, passamos a dar destaque a critérios que pertenceriam a um segundo nível, desta vez específicos da área de conhecimento de nosso interesse. Se tivermos por objetivo decidir quais os conceitos estruturantes da biologia, de um ponto de vista epistemológico, devemos saber como os conceitos dessa ciência se relacionam entre si, pois só assim poderemos mapear as relações entre eles e reconhecer quais conceitos apresentam mais conexões e possuem maiores implicações para a aprendizagem. Com isso em mente, na próxima seção, discutiremos uma

proposta de uma estrutura teórica para o conhecimento biológico e suas contribuições para a identificação de seus conceitos estruturantes.

3 OS BENEFÍCIOS DE UMA ESTRUTURA TEÓRICA PARA O CONHECIMENTO BIOLÓGICO

Todas as propostas citadas anteriormente se beneficiariam da existência de uma estrutura conceitual do conhecimento biológico a partir da qual se podem reconhecer os conceitos fundamentais, ou, como diz Gagliardi, seus conceitos estruturantes, para fins de ensino, criando assim uma estrutura do conhecimento a ser ensinado e identificando os pontos de contato entre as subáreas da biologia.

De fato, a importância da estrutura para a educação já foi reconhecida anteriormente. Bruner (1977) cita algumas vantagens de ensinar os princípios mais fundamentais de uma disciplina levando em conta sua estrutura:

1. Torna a disciplina mais compreensível, uma vez que tornaria possível reconhecer princípios gerais a partir dos quais os estudantes entenderiam coisas mais específicas (em consonância com o que foi discutido na seção anterior)⁸;
2. Representa uma otimização do uso da memória, uma vez que é mais fácil em longo prazo lembrar-se de alguns poucos princípios gerais e, a partir deles, deduzir especificidades (evitando a necessidade de memorizar detalhes)⁹;
3. É uma forma eficiente de promover a transferência de treinamento, ou seja, o uso de habilidades em contextos diferentes daqueles em que foram aprendidas¹⁰.

⁸ Aqui, é possível perceber conexões com as ideias de princípios e conceitos, ambos os conteúdos conceituais na classificação de Coll.

⁹ Novamente, estabelecendo uma relação entre as ideias de Bruner e a classificação de Coll, esta otimização significa dar um menor enfoque do que atualmente é dado à memorização dos conteúdos conceituais ligados a fatos.

¹⁰ No que nos interessa neste trabalho, podemos pensar que um conceito aprendido em um contexto poderá ser utilizado em outros, como veremos mais adiante.

Uma estrutura serve não apenas para que os estudantes compreendam melhor a matéria, mas também para que os professores organizem seu próprio pensamento e decidam a sequência da disciplina. Gess-Newsome e Lederman (1995) mostram que diversos professores têm ideias diferentes de como a biologia a ser ensinada se organiza (o que eles chamam de estrutura do assunto da disciplina¹¹) e que essas ideias se modificam com o aumento do tempo na profissão e até mesmo por causa de fatores sociais (como a opinião de outros professores e as reações dos estudantes à forma como a disciplina é trabalhada). Esses autores relatam que dos cinco professores que participaram de sua pesquisa, todos admitiam ter alguma forma de estrutura subjetiva da disciplina, mas que não a pensavam na forma de um esquema ou diagrama. Dois destes professores afirmaram pensá-la em forma de lista, mas que a pensam apenas para uma unidade ou lição e não para o conteúdo do ano letivo inteiro (os autores então especulam se este último caso se aplica também aos outros docentes).

Antes de prosseguirmos, convém esclarecer o que entendemos por estrutura:

1. Conjunto de elementos que formam um sistema, um todo ordenado de acordo com certos princípios fundamentais. A forma ou modo de ordenação desse sistema, considerado em abstrato. Ex.: a estrutura do átomo, a estrutura da língua portuguesa, a estrutura da sociedade (JAPIASSU & MARCONDES, 2001).

Para identificar uma estrutura conceitual do conhecimento biológico, podemos ordenar suas ideias, conceitos, princípios, teorias e modelos buscando as relações que eles estabelecem entre si. Porém, devemos reconhecer que não há consenso sobre qual seria esta estrutura, não apenas no âmbito de ensino, mas também no âmbito epistemológico. Diversas tentativas de construí-la esbarraram, entre outras coisas, no debate da existência de leis e teorias biológicas (ou pelo menos na existência de leis e teorias nos mesmos moldes daquelas encontradas na Física). Pigliucci (2011), por exemplo, ressalta a heterogeneidade de subáreas no estudo da biologia teórica refletida na diversidade de métodos utilizados e em diferenças conceituais básicas que afetam a forma dos

¹¹ No original, *subject matter structure*

biólogos pensarem seus objetos de pesquisa. Para ele, isso dificultaria o estabelecimento de uma homogeneidade teórica entre as disciplinas das ciências biológicas.

Entretanto, isso não impediu que alguns autores tentassem esquematizar uma moldura conceitual da biologia. Entre eles está Samuel Scheiner, que vê uma teoria como “uma moldura conceitual^{12]} ou sistema de conceitos e proposições que fornecem explicações causais para fenômenos dentro de um domínio em particular” (Scheiner & Willig, 2008, p. 21). Indo além, ele propõe que teorias seriam “molduras hierárquicas que conectam princípios gerais abrangentes a modelos altamente específicos” (Scheiner, 2010, p. 296).

Ao enxergarmos uma teoria como uma moldura hierárquica, podemos ver como ela pode compreender outras teorias menos abrangentes. Scheiner & Willig (2008) e Scheiner, (2010) identificam pelo menos três níveis hierárquicos principais. No nível mais abrangente estão as teorias gerais, que não teriam por papel realizar predições específicas. Em vez disso, elas proveem um arcabouço no qual se podem inserir os componentes de teorias mais específicas (as teorias constituintes, como veremos adiante), explicitando premissas muitas vezes ocultas destas e dos modelos que elas suportam. Além disso, é a teoria geral que promoverá as interconexões necessárias à integração das teorias constituintes entre si, dentro de seu domínio.

As teorias constituintes^{13]} estariam no nível intermediário, tendo por papel delinear contornos e identificar parâmetros de interesse no estudo de determinado fenômeno para assim orientar o desenvolvimento de modelos e unificar modelos relacionados entre si. As teorias constituintes subordinadas a uma teoria geral não são mutuamente exclusivas, podendo haver superposição entre seus domínios (por exemplo, a teoria constituinte da seleção natural e a teoria constituinte da deriva genética, ambas subordinadas à teoria geral da evolução, têm como domínio a variação das frequências gênicas em uma população). Indo além, uma teoria constituinte pode pertencer ao

^{12]} No original, *conceptual framework*.

^{13]} O termo “teoria constituinte” não se refere exatamente a um determinado nível na hierarquia, mas pretende ser um termo neutro para indicar que uma determinada teoria faz parte de uma moldura mais inclusiva. Os três níveis descritos aqui são apenas uma simplificação de uma estrutura que na realidade toma a forma um continuum entre diversos níveis.

domínio de uma teoria geral e, ainda assim, levar em conta pressupostos pertencentes a outra teoria geral, sendo neste nível que a integração entre teorias gerais se dá.

Por fim, temos os modelos compondo o nível mais específico. Os modelos são constructos que representam ou simplificam o mundo natural, sejam eles físicos ou abstratos. É neste nível que as previsões são feitas e o entendimento causal se constrói. A figura 1 mostra um exemplo dos três níveis da teoria da biologia, que teria diversas teorias gerais subordinadas a ela. A teoria geral da evolução é tomada como exemplo e mostrada em mais detalhes, sendo representada uma teoria constituinte subordinada a ela (seleção natural) e um modelo produzido no âmbito desta teoria constituinte (a equação do criador).

A partir dessa abordagem, Scheiner (2010) propõe que a teoria da biologia teria como domínio a diversidade e complexidade dos sistemas vivos, incluindo suas causas e consequências. O domínio é o escopo de uma teoria, ou, segundo Picket e colaboradores (2007), “o conjunto de objetos, relações e dinâmicas em escalas espacial e temporal específicas que são objetos de investigação científica” (p. 38).

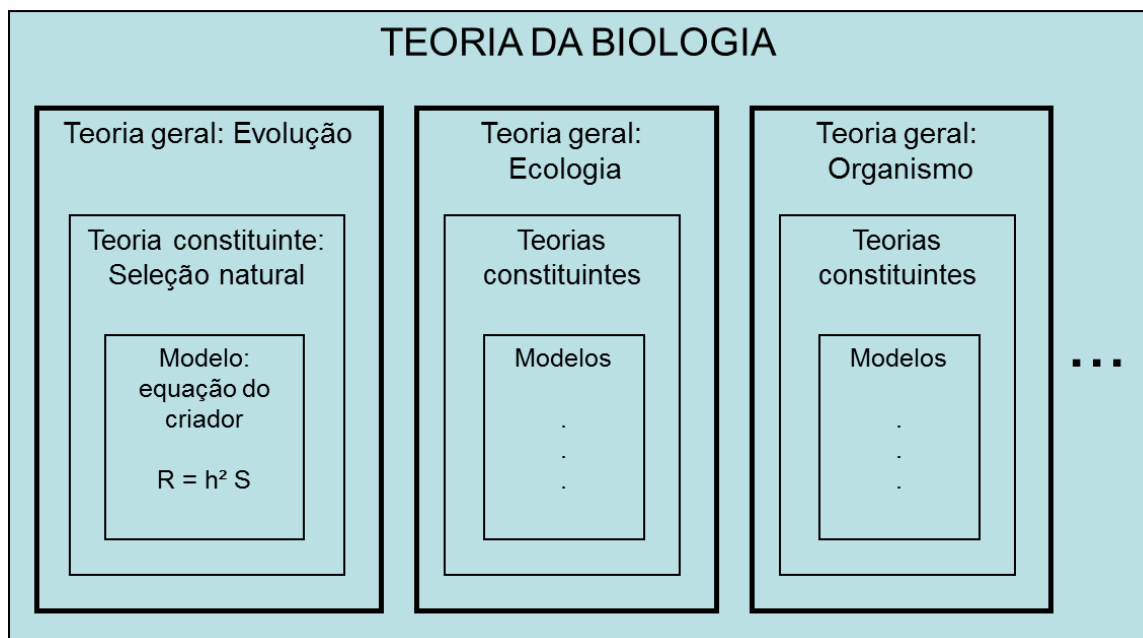


Figura 01: Os três níveis principais da hierarquia proposta por Scheiner, tomando como exemplo a teoria geral da evolução.

Para descrever a teoria da biologia, Scheiner propõe um conjunto de princípios fundamentais (tabela 01 do Anexo A), que são proposições gerais de amplo escopo que descrevem padrões empíricos e processos operantes dentro do domínio em consideração, consistindo de conceitos e generalizações confirmadas. Subordinadas à teoria da biologia, estão cinco teorias gerais: genética, célula, organismo, ecologia e evolução, cada uma delas possuindo seus próprios princípios gerais, também listados por Scheiner e colaboradores (tabelas 2 a 6 do Anexo A).

Scheiner admite abertamente que suas listas de princípios gerais não pretendem ser definitivas, mas que tem como um de seus objetivos estimular discussões sobre o assunto e reunir sugestões para aprimoramentos futuros. Este caráter provisório fica mais evidente quando percebemos que o próprio autor vem realizando modificações em diversos trabalhos (ver Scheiner & Willig, 2008; Scheiner, 2010; Scheiner & Willig, 2011; Zamer & Scheiner, 2014; Mindell & Scheiner, no prelo). Apesar disso, notamos que até agora foram feitos apenas ajustes finos e o teor geral se mantém o mesmo, sendo que a maior parte das mudanças está na ênfase em certos aspectos dos temas abordados.

Pigliucci (2011) critica os princípios gerais sugeridos para a teoria da biologia afirmando que muitos deles (princípios 1, 4, 5, 8 e 9) são observações diretas muito básicas dos sistemas biológicos, sugerindo que não trazem nenhuma novidade para os cientistas. Acreditamos, porém, que é justamente esse caráter básico que torna este pano de fundo tão interessante para o ensino de biologia, uma vez que os princípios nele listados são pressupostos geralmente ocultos e raramente tratados de forma explícita. Além disso, esse caráter básico nos permite ver além da heterogeneidade apontada por Pigliucci, mostrando que subjacente a ela há certa homogeneidade (ainda que ela pareça, aos olhos de um pesquisador experiente, óbvia e trivial). Se desejarmos que os estudantes aprendam os conceitos estruturantes mais gerais que permitam a compreensão posterior de ideias mais específicas, os princípios que Scheiner lista nos parecem um ponto de partida adequado para identificá-los.

Indo além, podemos nos perguntar em que níveis da moldura conceitual de Scheiner estariam os conceitos estruturantes com maior relevância para o ensino de biologia. Se quisermos reduzir a quantidade de conteúdos conceituais ensinados aos estudantes, nosso primeiro impulso seria o de selecionar um número muito pequeno de conceitos com alto poder estruturante no nível mais abrangente da moldura. Essa abordagem, porém, esbarra em uma dificuldade: o alto nível de abstração necessário para a total compreensão destes conceitos, incluindo suas implicações para as teorias nos níveis inferiores.

A estratégia oposta, por outro lado, se aproximaria muito da situação atual do ensino de biologia e não traria os benefícios que almejamos: tratar de uma grande quantidade de conceitos altamente específicos e pouco ou nada estruturantes; ou tratar todos os conceitos, gerais e específicos como se estivessem no mesmo nível, como se tivessem todos a mesma relevância. Estabelecer um equilíbrio entre um pequeno número de conceitos gerais e mais abstratos e um conjunto maior de conceitos mais específicos e de mais fácil apreensão é uma tarefa difícil e não a realizaremos de maneira definitiva neste trabalho. Iremos, porém, estabelecer um ponto de partida e esperamos aperfeiçoá-lo com o tempo, com críticas e sugestões de outros pesquisadores e docentes, mas, sobretudo, com a avaliação empírica.

É neste ponto que podemos perceber como as visões epistemológica, psicológica e didática dos conceitos estruturantes convergem. Ao definirmos os conceitos estruturantes dos níveis mais abrangentes da moldura conceitual, estabelecemos os objetivos de aprendizagem a serem alcançados pelos estudantes de um ponto de vista epistemológico. Porém, para que os estudantes possam aprender estes conceitos, eles necessitam de outros conceitos, menos abstratos. Estes conceitos, então, são selecionados em níveis mais baixos da moldura conceitual, dando-se maior ênfase seu papel estruturante de um ponto de vista psicológico. Finalmente, a abordagem didática receberá maior destaque quando os docentes entrarem em cena, selecionando temas que tratarão destes conceitos e definindo estratégias para abordá-los em sala de aula, levando em conta as especificidades de seus alunos e os conceitos dos quais eles dispõem que podem ajudá-los a construir os conceitos estruturantes.

Para ilustrar a ideia de como um conceito presente no Nível da teoria da biologia estabelece diferentes relações (no sentido epistemológico) nos níveis mais baixos da moldura conceitual, tomemos como exemplo o conceito de mudança, claramente presente no princípio geral 1.8 da teoria da biologia (tabela 1 do Anexo A). As causas, mecanismos e efeitos das mudanças dos sistemas biológicos precisam ser explicados. Essas explicações, porém, não serão encontradas nos outros princípios gerais desta teoria, embora eles forneçam alguns elementos importantes para a construção do nosso entendimento sobre o assunto. Estes elementos serão elaborados no âmbito das cinco teorias gerais subordinadas à teoria da biologia, sendo necessário, inclusive, que se elenquem outros conceitos específicos destas teorias (incluindo de outras áreas do conhecimento que não a própria biologia).

Se quisermos entender como os sistemas vivos mudam, devemos compreender, então, as contribuições de cada teoria geral: a teoria geral da genética permitirá compreender como a informação muda ao longo das gerações, incluindo o surgimento de nova informação (aqui, conceitos como mutação e recombinação se fazem necessários); a teoria geral da célula permitirá compreender como a maquinaria bioquímica obtém matéria e energia do meio externo e a transforma, realizando a ativamente a manutenção da própria integridade estrutural e funcional (o conceito de metabolismo possui contribuições importantes neste ponto, sendo o ciclo de Krebs um dos mecanismos que o exemplificam); a teoria geral do organismo explicará como o organismo mantém sua homeostase (outro conceito relevante) frente às perturbações do meio, com processos que levam a um estado de equilíbrio dinâmico (a termorregulação exemplifica bem como esse estado é atingido); a teoria geral da ecologia esclarecerá, por exemplo, como a composição da comunidade de determinada localidade é alterada ao longo de um evento de sucessão ecológica (tendo a Lei da sucessão (PICKET & MCDONNELL, 1989) como um modelo útil); por fim, a teoria geral da evolução mostraria como as linhagens de organismos se modificam ao longo das gerações (o conceito de especiação, por exemplo, desempenha um papel fundamental neste contexto, podendo ser ainda ligado aos conceitos de simpatria e alopatria). Ver figura 02.

TEORIA DA BIOLOGIA CONCEITO: MUDANÇA					
TEORIAS GERAIS	<u>GENÉTICA</u> Mudanças na informação	<u>CÉLULA</u> Transformação de matéria e energia	<u>ORGANISMO</u> Mudanças para manutenção da Homeostase	<u>ECOLOGIA</u> Comunidades	<u>EVOLUÇÃO</u> Diversificação e modificação de Linhagens
TEORIAS CONSTITUENTES	Teoria cromossômica da herança	Metabolismo*	Equilíbrio dinâmico*	Sucessão ecológica	Especiação
MODELOS	Mutação, recombinação.	Ciclo de Krebs	Termorregulação	Lei da sucessão	Simpatria, alopatria.

Figura 02: Como o conceito de mudança é aplicado nas cinco teorias gerais da biologia e em suas teorias constituintes e modelos. As palavras e expressões marcadas com um asterisco foram incluídas apenas como exemplos de conceitos que fariam a ligação entre a teoria geral e os modelos, uma vez que ainda não existem teorias constituintes formalizadas e amplamente reconhecidas como tais para as teorias de célula e organismo.

Ao levarmos isso em consideração, entendemos que o nível das cinco teorias gerais também deve ser considerado para a identificação dos conceitos estruturantes. Fazer isso nos permitira avançar em direção a alcançar primeira parte do nosso objetivo: o de selecionar conceitos estruturantes com grande impacto para o aprendizado das subáreas da biologia. Porém, a segunda parte ainda não seria satisfeita: encontrar os conceitos estruturantes que permitam aos estudantes relacionar e integrar os conhecimentos das subáreas. Para satisfazer esta segunda parte, devemos buscar os conceitos estruturantes presentes nas teorias constituintes subordinadas às teorias gerais, bem como nos modelos. Aqui, porém, sugerimos que o foco recaia apenas sobre os conceitos que permitam a integração almejada, deixando de lado os que tratam apenas das especificidades desses níveis inferiores da hierarquia¹⁴.

Um exemplo destes conceitos seria o de nicho, que nos permitiria conectar a teoria geral de organismo com a de ecologia e de evolução. Ao estudarmos como se dá o processo de construção de nicho, podemos entender como a existência de conflitos (*trade-offs*) entre funções dos

¹⁴ Exceto nos casos em que tais teorias teriam importância para os sujeitos no contexto social de ensino por motivos que não o aprendizado da ciência em si, como discutimos na introdução. Voltamos a esta questão nas considerações finais.

organismos faz com que eles modifiquem suas formas de interagir com o ambiente e ocupem novos nichos de forma a reduzir tais conflitos, o que leva, em última análise, à diversificação fenotípica, uma vez que determinadas variantes em uma população serão favorecidas, via seleção natural, no novo nicho (ZAMER & SCHEINER, 2014).

Acreditamos que com isso, já temos um bom começo para selecionar o que realmente é importante que os estudantes aprendam. Além disso, com base na proposta de Scheiner, podemos também vislumbrar uma maneira de reestruturar o currículo, o que nos proporcionaria uma alternativa à abordagem atualmente comum. Poderíamos pensar um currículo em que, no lugar de zoologia e botânica, por exemplo, trataríamos de plantas e animais enquanto organismos, enfocando nos conceitos estruturantes desta teoria geral. Isso nos levaria um passo adiante na tarefa de reduzir a fragmentação da biologia em suas subáreas no ensino médio.

Porém, isso não nos parece suficiente para promover esta reestruturação. Consideramos que outras ideias também merecem nossa atenção para sanarmos o que consideramos como desequilíbrios nos conteúdos atualmente ensinados. Trataremos de dois deles nas próximas seções.

4 EM DEFESA DE UM EQUILÍBRIO ENTRE A BIOLOGIA FUNCIONAL E A BIOLOGIA EVOLUTIVA

Em 1961, Ernst Mayr publicou um artigo que teve profundas implicações na forma como compreendemos a biologia atualmente. No trabalho intitulado “*Cause and Effect in Biology*”, Mayr afirma que a biologia não é uma ciência uniforme na maneira como estuda e explica seus fenômenos de interesse. Em trabalhos posteriores, Mayr (2005, 2008) aprofunda essa visão e mostra como a biologia na verdade se divide em duas: a biologia funcional, ocupada das causas próximas; e a biologia evolutiva, interessada nas causas últimas. Essas duas biologias, embora diferentes, são complementares e nenhuma tem precedência sobre a outra: se quisermos compreender completamente os sistemas vivos, devemos buscar explicações em ambas.

Em mais detalhes, a biologia funcional tem um caráter primário que se aproxima do mecanicismo, com seu foco recaindo sobre as atividades realizadas pelos organismos, incluindo processos genômicos e fisiológicos. As explicações da biologia funcional permitem a compreensão

da constituição individual do organismo e de seu funcionamento, tendo por ponto de partida perguntas que se iniciam com o pronome interrogativo “Como”. Por exemplo: “Como ocorre a digestão celular?”; “Como se dá a regulação gênica”; ou “Como os morcegos percebem o ambiente por meio da ecolocalização?”. A biologia funcional estuda, então, as causas próximas, reconhecidas por atuarem no tempo de vida de um organismo individual. Essas causas podem ser percebidas pelo pesquisador, que se utiliza de abordagens experimentais para estudá-la. Como resultado desse investimento de pesquisa, temos explicações guiadas por um princípio de adequação autopoietica, as chamadas explicações funcionais, que podem ser elaboradas na forma de modelos de mecanismos. Exemplos de áreas da biologia voltadas primariamente para o aspecto funcional são a biologia molecular e a fisiologia (MAYR, 2005, 2008; CAPONI, 2001, 2002, 2007; ver também NUNES-NETO & EL-HANI [2009] para uma discussão sobre o conceito de função), porém o mesmo parece valer também para a ecologia (NUNES-NETO et al., 2014).

Já a biologia evolutiva, de caráter histórico, trata de questões relativas à evolução biológica para elaborar suas explicações. Essas questões tomam a forma de “Por quê?”. “Por que os tetrápodes compartilham o mesmo plano corporal básico?”, “Por que alelos que proporcionam anemia falciforme se mantêm em populações humanas que habitam áreas atingidas pela malária?” são exemplos dessas questões. Para respondê-las, o pesquisador invoca uma história evolutiva de uma linhagem de organismos ou de uma determinada característica de um organismo, colocando em destaque as possibilidades e limitações no funcionamento de diversas estruturas biológicas. É nessa história evolutiva que se identificam as causas últimas, atuantes em uma escala de tempo que atravessa gerações, agindo frequentemente ao longo de milhares ou milhões de anos, o que na maioria dos casos impede o uso de abordagens experimentais nos estudos (úteis apenas ao se tratar de mecanismos evolutivos), cedendo espaço a métodos comparativos e inferências históricas que permitem a reconstrução de eventos evolutivos. Para a biologia evolutiva, as explicações tomam a forma de narrativas que relatam como os processos evolutivos atuaram nas populações (MAYR, 2005, 2008; CAPONI, 2001, 2002)

É importante ressaltar que, nestas explicações, a evolução é compreendida como um processo variacional que inclui mudanças na distribuição de características em populações e que

eventualmente levam à fixação de características, envolvendo diversos mecanismos evolutivos, entre os quais se encontra a seleção natural. O pensamento variacional foi uma das principais ideias de Darwin que diferencia seu raciocínio evolutivo do raciocínio de naturalistas anteriores (como Buffon e Cuvier), que enxergavam a evolução como um processo transformacional que envolveria mudanças (em uma direção preferencial) em características nos organismos individuais. Ao afirmar que as populações (e não os indivíduos) evoluem, Darwin coloca em destaque a ideia de que não é possível explicar a diversificação e as adaptações dos seres vivos com base exclusivamente na biologia das causas próximas. Enquanto a maioria dos naturalistas de sua época buscava a explicação para tais fenômenos nas condições climáticas e do solo atuando sobre indivíduos, Darwin apelou para causas remotas atuando nas populações (CAPONI, 2002).

Recentemente, a dicotomia entre causas próximas e causas últimas tem sido questionada (e.g. ARIEW, 2003; THIERRY, 2005; LALAND et al, 2011; CALCOTT, 2013; LALAND et al, 2013a; LALAND et al, 2013b). Um dos principais argumentos, proposto inicialmente por Laland e colaboradores (2011), é o da causalidade recíproca, que afirma que não só as causas evolutivas influenciam os organismos, mas que eventos ocorridos na ontogênese destes organismos também teriam efeitos evolutivos. Isso aconteceria, entre outros casos, quando organismos realizam atividades que alteram as pressões seletivas que atuam sobre uma população. Por exemplo: minhocas que, ao ocuparem um novo solo, modificam suas características ambientais e permitem uma maior infiltração de água, interferem nas pressões seletivas que atuarão sobre as próximas gerações, fazendo com que os indivíduos mais resistentes a condições de baixa umidade deixem de ter vantagem seletiva. Assim sendo, os organismos atuam sobre a pressão seletiva (a disponibilidade de água no solo) e a pressão seletiva age de volta sobre os organismos, caracterizando a reciprocidade. Laland e seus colaboradores, então, sugerem que a visão dicotômica sobre as causas proposta por Mayr seja abandonada por não ser mais útil às investigações biológicas, tendo, inclusive se tornando um obstáculo a ser superado para que áreas de investigação mais recentes (como construção de nicho e biologia evolutiva do desenvolvimento) possam ser integradas à biologia evolutiva no projeto de pesquisa da Síntese Evolutiva Estendida (para mais sobre a Síntese Estendida, ver Pigliucci (2007), Pigliucci & Müller (2010) e Pigliucci & Finkelman (2014)).

Caponi (2013), porém, afirma que a ideia de causação recíproca advém, primariamente, de uma má compreensão da ideia de pressão seletiva: ela não seria determinada apenas pela ação de fatores ambientais sobre os organismos (como Laland parece entender e o próprio Mayr sugere em seus escritos), mas se configuram pela interação entre fatores ecológicos (os fatores ambientais que são relevantes para a vida dos organismos de uma espécie) e uma população de organismos dotada de variações selecionáveis. Uma pressão seletiva só existe de fato quando um fator ecológico promove diferenças de sucesso reprodutivo entre os indivíduos de uma população, levando à alteração de suas proporções gênicas. Uma vez que uma pressão seletiva tenha agido por tempo suficiente para que não exista mais variação a ser selecionada, por exemplo, a própria pressão deixa de existir, ainda que o fator ecológico permaneça inalterado.

Como exemplo, Caponi cita o caso de uma população de plantas que é submetida a uma situação de escassez de água. Se todos os organismos reagirem da mesma forma à escassez (por exemplo, reduzindo o crescimento) e não houver alterações em seus sucessos reprodutivos, não existe uma pressão seletiva de fato. Porém, se houver alguma variação que permita que alguns indivíduos reajam de forma diferente à baixa disponibilidade de água e que estes indivíduos tenham maior sucesso reprodutivo que outros, aí está estabelecida a pressão seletiva. Interessantemente, a reprodução destes indivíduos (um fenômeno tradicionalmente entendido como uma causa próxima) levará ao fim da pressão seletiva (um fenômeno tradicionalmente entendido como uma causa última) uma vez que toda a população seja composta por seus descendentes e não houver mais variação a ser selecionada. Quando consideramos isso, damos a devida importância ao fato de que, na realidade, toda pressão seletiva sofrerá influência das atividades realizadas pelos organismos sobre os quais agem e, indo mais longe, que todo e qualquer fenômeno evolutivo será influenciado por fenômenos tradicionalmente entendidos como causas próximas.

Caponi advoga, então, que a dicotomia seja mais bem estudada levando-se em conta a uma melhor compreensão da teoria darwinista da evolução e seu pensamento variacional, que coloca não apenas populações, mas sim **linhagens** como foco das explicações evolutivas (CAPONI, 2008). Ele esclarece que toda causa última compreende de maneira inexorável fenômenos que também podem ser estudados como causas próximas. Para ele, porém, o que devemos ter em mente é que, em

determinados contextos, as consequências de alguns fenômenos não ficam restritas a indivíduos ou a uma única geração de uma população, mas repercutem também na linhagem, alterando sua composição ao longo de gerações. É apenas ao olharmos para as linhagens, e não apenas para os indivíduos, que percebemos e compreendemos essas consequências e somente assim podemos reconhecer as causas últimas.

Tendo isso em vista, Caponi (2008) nos diz que é possível entender também como fenômenos estudados pela biologia evolutiva do desenvolvimento atuam como causas últimas: restrições e vieses desenvolvimentais modificam as composições de linhagens de organismos influenciando na disponibilidade de variações ao longo das gerações. Eles não podem ser considerados como causas puramente próximas, pois variação é uma característica de linhagens, não de indivíduos.

Além disso, o foco na mudança da composição de linhagens nos permite também entender como fenômenos ecológicos podem ser classificados como causas próximas (caso não promovam mudanças na composição) ou como causas últimas (caso promovam mudanças). Enfim, a mudança de compreensão que Caponi defende, ao mesmo tempo em que salva a distinção entre causas próximas e causas últimas das críticas já feitas a ela, esclarece seus fundamentos e até mesmo amplia sua aplicação (já que clados acima do nível de espécie também são considerados como linhagens).

O reconhecimento de que a biologia se compõe de duas tradições de pesquisa distintas e complementares e de que há dois tipos de causas passíveis de serem estudadas tem repercussões para o ensino. Uma vez que os fenômenos biológicos podem ser investigados por duas perspectivas diferentes, uma abordagem educacional que ignore parcialmente ou completamente uma delas resultaria incompleta. Trabalhar a pergunta “como funciona o sistema de endomembranas de uma célula eucariótica”, por exemplo, trará a possibilidade de analisar os modelos de mecanismos propostos pela biologia celular; porém, esta análise necessita ser complementada com a discussão de questões do tipo: “Por que todos os elementos do complexo de endomembranas são lipoproteicos?” Isso permitirá abordar a história evolutiva da célula eucariótica e compreender a

origem e estruturação desse tipo celular a partir de processos que alteraram a composição das linhagens de células ao longo das gerações.

Uma análise dos livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio de 2007 mostra que os conteúdos conceituais relativos às áreas da biologia com maior foco na biologia evolutiva (como sistemática e evolução) representam apenas 8% do total presente nas obras, evidenciando a atenção desproporcional dada a conceitos da biologia funcional (CARVALHO *et al*, 2011). Isso sugere que a recomendação de que a teoria evolutiva seja utilizada como eixo integrador do ensino de biologia não tem sido colocada em prática. Tampouco está presente uma justificativa de porque – contrariando os PCN – deve haver predominância da biologia funcional. Entendemos que, ao identificarmos os conceitos estruturantes da biologia, priorizando o ensino de conceitos pertencentes às duas biologias de maneira mais equilibrada, forneceremos elementos úteis para que esta recomendação seja cumprida, permitindo que os estudantes alcancem uma compreensão do mundo vivo que contemple as duas perspectivas.

Isso implica em não apenas aumentar o número de conteúdos conceituais da biologia evolutiva presentes no currículo, mas também em reduzir o número de conteúdos da biologia funcional. Ao identificarmos os conceitos estruturantes desta, já damos um passo em direção a este objetivo. Porém consideramos útil pensarmos também sobre os aspectos dos sistemas biológicos a que eles se referem, o que nos permitiria identificar um segundo desequilíbrio nos conteúdos conceituais atualmente tratados em sala de aula. É deste desequilíbrio que trataremos na próxima seção.

5 EM BUSCA DE UM SEGUNDO EQUILÍBRIO: COMPONENTES SISTÊMICOS, PROCESSOS E DESCRITORES NO ENSINO DE BIOLOGIA

Mencionamos anteriormente o grande número de conteúdos conceituais atualmente presentes no ensino médio de biologia. Não é difícil percebermos que grande parte destes conteúdos se referem a componentes dos sistemas biológicos. Uma breve análise nos livros didáticos nos permite constatar o grande número de componente citados em breves descrições do processo de

contração muscular: Lopes e Rosso (2013) citam 13 componentes (miofibrila, miofilamento, miosina, actina, banda a, banda i, linha z, banda h, sarcômero, placa motora, íons de cálcio, ATP, acetilcolina); Mendonça (2013) cita 14 (miofibrila, miosina, actina, sarcômero, retículo sarcoplasmático, íons de cálcio, ATP, ADP, AMP, glicose, gás carbônico, glicogênio, fosfocreatina, junção neuromuscular); e Linhares e Gewandszajder (2013) citam também 14 (miofibrila, miosina, actina, banda a, banda i, linha z, banda h, alfa-actinina, sarcômero, placa motora, sarcolema, íons de cálcio, retículo endoplasmático, ATP).

Parece-nos óbvio que é impossível compreender os sistemas biológicos sem possuir algum conhecimento sobre seus componentes. Porém, também nos parece insuficiente saber apenas quais são estes componentes. Para compreendermos os sistemas biológicos, devemos levar em conta sua natureza dinâmica, percebendo como seus componentes interagem entre si ao longo do tempo. Em outras palavras, devemos entender os processos que permitem o funcionamento e manutenção dos sistemas biológicos.

Além de componentes sistêmicos e processos, frequentemente fazemos referência a propriedades dessas entidades. Falamos em tecidos **vascularizados**, células **anucleadas**, evolução **gradual** e águas **turvas**, por exemplo. Em muitos casos, utilizamos determinadas características como base para classificações e tipologias: classificamos os tecidos em epiteliais, conjuntivos, musculares e nervoso partindo de suas formas e funções; classificamos os biomas em florestas, campos, desertos, entre outros, com base em suas fisionomias vegetais características; classificamos os animais bilaterais em protostomados e deuterostomados devido à origem histórica comum de traços no desenvolvimento embrionário. Utilizamos diversos termos que qualificam entidades biológicas com o intuito de descrevê-las. Aqui, chamaremos esses termos de “descritores”.

Discutiremos a partir de agora os conteúdos conceituais referentes a componentes sistêmicos, processos e descritores no ensino médio de biologia. Abordaremos aqui as ideias discutidas em outro trabalho (CARVALHO *et al*, 2013), descrevendo-as brevemente. Porém, mudaremos a denominação da terceira categoria sugerida anteriormente: abandonamos a ideia de “padrões” por acreditarmos que ela não captura os aspectos que desejamos enfatizar, substituindo-a pela denominação de “descritores” (mais abrangente), introduzida no parágrafo acima.

Em nosso trabalho anterior, chamamos atenção para o fato de que nos livros didáticos de biologia se dispensa uma grande atenção aos componentes dos sistemas biológicos ou à descrição dos mesmos em termos estáticos, havendo uma fraca articulação entre os conceitos pertencentes às três categorias que são de nosso interesse. Ao analisarmos um capítulo sobre sistemática, percebemos que ele descreve o sistema de classificação das espécies (destacando os níveis que o compõem) e menciona diversos clados, citando as características comuns a seus representantes (utilizando diversos descritores), sem, no entanto, abordar processos evolutivos que levam à cladogênese e à anagênese. Deixa-se de explicitar também, por exemplo, a ideia de que as características comuns a dois grupos se devem ao compartilhamento de um ancestral.

Outro capítulo analisado, desta vez sobre zoologia (mais especificamente sobre a vida e a diversidade dos cordados), menciona 108 componentes sistêmicos (de um total de 171 conceitos listados), incluindo exemplos de características compartilhadas por grupos taxonômicos citados. Processos evolutivos que geram a diversidade biológica sequer são mencionados. Analisamos também um capítulo sobre ecologia, uma área fortemente centrada no estudo de processos, como fica claro ao observarmos, 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. O capítulo tratava da dinâmica das populações, com várias características do sistema sendo descritas e vários componentes sendo citados. Apenas o processo de crescimento populacional é examinado mais profundamente, mas as diversas variáveis que o compõem são apenas listadas e descritas, sem que, no entanto, se explicita como elas se articulam entre si.

Em suma e 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 características cujas origens e consequências nem sempre são explicitadas. Isso mostra, de imediato, uma abordagem da Biologia que não cria condições para que os estudantes compreendam um dos principais atributos dos sistemas vivos: sua natureza dinâmica.

A partir da análise acima, propomos que o ensino de Biologia passe a dar mais atenção aos processos, o que levaria não apenas à uma melhor compreensão sobre a natureza dos sistemas vivos, mas também forneceria mais um subsídio para a identificação de conceitos estruturantes que

facilitassem o entendimento de características e componentes sistêmicos. Tendo um determinado **processo** em mente, poderíamos identificar seus **componentes** e seus **descritores**, apresentando aos estudantes apenas o essencial para o seu entendimento, evitando mencionar 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.

Para isso, devemos ter em mente o que caracteriza os conceitos pertencentes a cada uma destas categorias, complementando os elementos já apresentados acima. Cabe mencionar que há diversas visões sobre a definição de processo, envolvendo questões metafísicas bastante complicadas. Porém, nossa intenção aqui é apenas o de estabelecer significados que nos permitam atingir nosso objetivo na seleção de conteúdos conceituais e não pretendemos resolver de forma definitiva questões filosóficas mais profundas.

Consideramos como componentes sistêmicos 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 hierárquico¹⁵ em que realizamos a observação. Assim, o que é um processo em um nível hierárquico pode ser um componente em algum nível acima. A reprodução, por exemplo, pode ser estudada como um processo em si ao nível de indivíduo ou como componente de outro processo em um nível mais abrangente (se estivermos interessados em estudar o crescimento populacional, por exemplo). Um componente pode ser tangível, como no caso de uma estrutura física (uma enzima ou um órgão, por exemplo) ou não (como a biodiversidade).

Já 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). Processos envolvem a interação dos componentes de um sistema não apenas na dimensão temporal,

¹⁵ Tomamos como base uma visão hierárquica dos sistemas, na qual cada nível se encontra aninhado no nível imediatamente superior a ele. Para mais sobre hierarquias, ver Ahl e Allen (1996).

mas também na dimensão espacial, sendo que algumas propriedades destes componentes possuem influência direta sobre o processo, determinando o espectro total de qualidades possíveis das interações. É possível, então, pensar em processos a partir do ponto de vista de mecanismos.

Craver & Bechtel (2006) propõem uma maneira de modelar mecanismos que nos é útil. Para estes autores, um mecanismo possui quatro componentes: um aspecto fenomênico (o que o mecanismo faz); um aspecto componencial (as partes que compõem um mecanismo); um aspecto causal (como os componentes agem e interagem uns com os outros); e um aspecto organizacional (como os componentes e suas relações causais estão organizados no tempo e no espaço). Ao olharmos para um processo, podemos, utilizando esta abordagem, nos perguntar quais seus resultados (seu aspecto fenomênico), quais entidades estão envolvidas (aspecto componencial), como elas interagem entre si (aspecto causal) e como o processo se desenvolve no espaço e no tempo (aspecto organizacional).

Por fim, os descritores são conceitos que aludem a uma gama de características, funções, propriedades, categorias (mais ou menos artificiais) e padrões que são necessários para a descrição e compreensão dos sistemas vivos. Por exemplo, ao dizer que uma população apresenta determinada “taxa de natalidade”, estamos citando uma propriedade da mesma; ao dizer que duas estruturas são “análogas” ou “homólogas”, estamos categorizando-as; ao dizermos que tecidos epiteliais servem como “revestimento” determinados órgãos, aludimos à função dos mesmos.

Muitos descritores nos permitem identificar regularidades no funcionamento de diversos sistemas e construir generalizações. Ao falarmos de “reprodução sexuada”, por exemplo, estamos ressaltando as similaridades entre diversas estratégias reprodutivas presentes em diversas formas de vida. O reconhecimento destas similaridades é indispensável à atividade científica, que, sem ele, se limitaria à simples descrição de casos isolados e com reduzido potencial heurístico. Em alguns casos, isso nos permite uma capacidade de previsão, como o princípio de Fisher (HAMILTON, 1967), que explica porque em populações de organismos de reprodução sexuada podemos esperar encontrar um equilíbrio entre os números de indivíduos de cada sexo. Em outros casos, perceber padrões nos permite perguntar que processos os geraram. Por exemplo: o padrão dicotômico da árvore da vida nos permite procurar entre uma gama de processos capazes de gerar a especiação

(Como processos de isolamento geográfico, na especiação alopátrica, e processos de isolamento reprodutivo pré-zigóticos e pós-zigóticos, na especiação simpátrica (RIDLEY, 2004)).

Como determinar, então, os critérios para selecionarmos os descritores que realmente importam no ensino de biologia, já que eles formam uma categoria tão ampla? Nos níveis mais altos da hierarquia proposta por Scheiner, a tarefa não é difícil. Os princípios gerais de cada teoria já sugerem diversas propriedades de grande importância para a compreensão dos sistemas vivos (a homeostase é um exemplo). Podemos pensar não só como diversas dessas propriedades contribuem para a compreensão dos constituintes mais específicos, mas também como as diversas partes dos sistemas vivos contribuem para o surgimento dessas propriedades. Grandes categorias e classificações pertencentes a cada uma das cinco teorias gerais também podem ser listadas (células eucarióticas e procarióticas, por exemplo).

Nos níveis inferiores da hierarquia, sugerimos que se pensem inicialmente nos processos. Ao pensarmos em processos como mecanismos, podemos perceber quais aspectos devem ser abordados para compreendê-los, utilizando a abordagem proposta por Craver e Bechtel (2006). Quando decidimos ensinar sobre um mecanismo, observamos, por exemplo, seu aspecto componencial, ou seja, que componentes fazem parte do mecanismo. Isso nos permite focar nos componentes que possuem relevância para o mecanismo e nas suas propriedades que contribuem para a realização do fenômeno. Evitamos assim não só mencionar componentes que não são importantes, mas também propriedades que não nos interessam. Em algumas ocasiões, citar apenas uma categoria de componentes é o suficiente: basta, por exemplo, que os estudantes saibam que há quatro tipos de nucleotídeo e quais as contribuições da categoria na manutenção e fluxo da informação a partir dos ácidos nucleicos, não sendo necessário examinar cada um a fundo¹⁶.

Tendo dito isso, temos então elegidos nossos quatro critérios para a seleção de conteúdos conceituais de biologia: 1 – priorizar o ensino de conceitos estruturantes; 2 – identificar os conceitos estruturantes com base em um pano de fundo conceitual da biologia composto de uma grande teoria da biologia e outras cinco teorias gerais subordinadas a ela (genética, célula,

¹⁶ Pode-se mostrar aos estudantes o que diferencia cada um, apenas como forma de explicitar o princípio de que a forma de uma molécula influencia na afinidade química desta com outras.

organismo, ecologia e evolução); 3 – estabelecer um equilíbrio entre os conceitos abordados pelas biológicas funcional e evolutiva; 4 – buscar um equilíbrio entre os conceitos referentes a componentes sistêmicos, processos e descritores. Na próxima seção, exemplificamos como tais diretrizes podem ser aplicadas.

6 SELECIONANDO CONTEÚDOS DE ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

Antes de prosseguirmos, é importante deixarmos claro que esta seção não pretende propor os conteúdos que deveriam ser *de pronto* ensinados em sala de aula. Em vez disso, pretendemos ilustrar como nossos critérios podem ser aplicados, facilitando a compreensão dos mesmos e fornecendo mais um recurso para que sejam discutidos. Escolhemos aplicá-los à seleção de conteúdos conceituais a partir da teoria da biologia e, mais especificamente, das teorias gerais da ecologia e da evolução propostas por Scheiner e colaboradores. Ressaltamos que o tratamento dado aqui às teorias gerais, entretanto, é assimétrico. Enquanto na teoria da evolução já é possível perceber uma estruturação conceitual mais claramente consolidada, o mesmo não se observa na teoria da ecologia. Ainda que a proposta de Scheiner sugira avanços neste quesito (que comentamos mais abaixo), ela ainda não foi suficientemente desenvolvida para resolvê-lo.

Apresentaremos os conceitos inicialmente na forma de listas, expondo brevemente os motivos que nos levaram a incluí-los. Ao falarmos nos conceitos das teorias da ecologia e da evolução, estabelecemos as conexões entre eles e os conceitos da teoria da biologia, bem como algumas das conexões com outras das cinco teorias gerais. Em seguida, redigimos para a teoria da evolução um breve texto base mostrando as articulações dos conceitos selecionados. Com base nesse texto, construímos um diagrama temático (figura 03) que identifica as relações semânticas que os conceitos podem estabelecer, gerando um padrão temático, de acordo com a proposta de Lemke (1990). As relações semânticas explicitam como o significado de duas palavras ou enunciados se relacionam quando são mobilizados para aludir a um determinado assunto, servindo como generalizações de diferentes formas gramaticais que se referem a esta relação. Utilizaremos aqui uma versão adaptada para o português de uma lista das relações semânticas mais comuns apresentadas em inglês por Lemke (1990).

É importante ressaltarmos que as relações semânticas se referem a relações estabelecidas entre conceitos no âmbito da linguagem, que nem sempre se sobrepõem totalmente às relações presentes no âmbito epistemológico. Assim, quando dizemos que “seleção natural gera adaptações”, de um ponto de vista semântico, estamos dizendo que a seleção natural é agente de um processo (gerar) e que os resultados ou produtos deste processo são as adaptações. Obviamente, do ponto de vista da biologia, a seleção natural não é um agente consciente, mas um processo (ARIEW, 2003), e que ela não gera as características em si, apenas que tem como consequência a alteração das proporções das variantes de determinado traço.

Ao levarmos essa diferença em consideração, percebemos como tomamos muitas liberdades na forma como utilizamos a linguagem ao falarmos de ciência, empregando metáforas e outras figuras de linguagem. Tais liberdades causam poucos problemas quando os cientistas se comunicam com seus pares, uma vez que estes geralmente sabem, ainda que implicitamente, que a linguagem empregada desta forma não tem o intento de ser literal. Porém, na comunicação com outros tipos de público, inclusive com os estudantes do ensino médio, este entendimento nos parece estar ausente com maior frequência.

Tendo isso em mente, decidimos por redigir o texto base utilizando a linguagem da forma mais cuidadosa possível de modo a evitar possíveis mal entendidos. Ao utilizar os padrões temáticos, explicitamos as relações semânticas que podem expressar, na comunicação, as relações entre os conceitos, no âmbito epistemológico, da forma mais próxima possível, evitando ao máximo ambiguidades. Assim, passamos a dizer que “características fixadas em uma população por meio do processo de seleção natural são chamadas de adaptações” em vez de “seleção natural gera adaptações”.

Quanto aos conceitos estruturantes da teoria da biologia, alguns deles estão explícitos já na própria redação de seus princípios gerais, enquanto outros podem ser facilmente deduzidos a partir de um ou mais princípios. É válido lembrar que diversos destes conceitos podem ser articulados com outros conceitos mais específicos das teorias gerais, construindo novos significados, embora nosso interesse, nesta oportunidade, não seja o de estabelecer todas essas articulações. Chegamos, então, à seguinte lista:

- A) Persistência (princípio 1.1, ver tabela no Anexo A): a persistência dos sistemas biológicos é uma das principais propriedades a serem explicadas pela biologia. Os conceitos listados abaixo são fundamentais para que essa explicação seja compreendida. Todas as cinco teorias gerais irão, também, fornecer as bases para essa compreensão, articulando seus próprios conceitos com os outros conceitos dessa lista;
- B) Célula (princípio 1.2): trabalhado em profundidade por uma teoria geral específica, mas também desempenhando papéis nas teorias da genética e de organismo (na qual é vista como um componente sistêmico), por exemplo;
- C) Informação (princípio 1.3): semelhante ao conceito de célula, também é tratado em profundidade por uma teoria geral específica (genética), embora este conceito não tenha ainda significado claro na biologia, podendo ser considerado nada mais que uma metáfora à espera de uma teoria que atribua a ela tal significado claro no contexto desta ciência (GRIFFITHS, 2001; EL-HANI, QUEIROZ & EMMECHE, 2009). Ainda assim, o uso deste conceito e sua acepção coloquial não parece impor dificuldades no contexto do ensino médio;
- D) Variação (princípio 1.4): a variação é uma propriedade que pode ser pensada de diferentes formas em cada teoria geral e, inclusive, cumprir diferentes papéis a depender do contexto. Por exemplo, a variedade espécies em um clado é objeto de explicação da teoria da evolução (seu *explanandum*), enquanto a variação genética de uma população é parte dessa explicação (ou seja, parte do *explanans*). Podemos pensar também na variedade de partes constituintes de um organismo, entre outras coisas.
- E) Interação: (princípio 1.5): vista como um processo, pode ser aplicado nas teorias de célula e organismo, por exemplo, para se pensar nas relações entre suas partes constituintes. Também na teoria de organismo, pode ser pensado no tocante às relações entre os indivíduos e o ambiente externo, estabelecendo um ponto de contato com a teoria da ecologia. O conceito de interação tem grande importância, ao lado dos conceitos de variação e mudança, para a compreensão das propriedades que permitem a persistência dos sistemas

vivos, incluindo seu caráter dinâmico. Possui importância também para compreender os conceitos de emergência e contingência.

- F) Emergência: (princípio 1.6): encontradas em diferentes níveis de organizações dos sistemas biológicos e em todas as cinco teorias gerais. Podemos pensar nelas como propriedades de um nível de organização de um sistema que se devem a propriedades, estruturas e processos únicos àquele nível, e que não se resumem a meros agregados das propriedades dos componentes de níveis inferiores (SCHEINER, 2010). Os exemplos incluem os mais facilmente visíveis (como a capacidade de locomoção de um membro de vertebrado), aos mais abstratos, como a homeostase.
- G) Contingência: (princípio 1.7): Possui implicações para o conceito de mudança. Pode ser inicialmente compreendida como a combinação entre aleatoriedade e sensibilidade às condições iniciais de um sistema (SCHEINER & WILLIG, 20110). É a ação de influências ambientais contingentes sobre os organismos, por exemplo, que torna necessário que eles possuam mecanismos que mantenham sua homeostase e que os dotem de resiliência, por exemplo. Eventos contingentes também possuem grande influência na evolução das espécies e na história da vida.
- H) Mudança: (princípio 1.8): a mudança envolve processos presentes em todos os sistemas biológicos. Ela está presente nas células, que mudam seus estados internos para realizar atividades metabólicas e para reproduzirem-se, por exemplo. Organismos mudam para manter a homeostase. Espécies também mudam com o tempo, permitindo a sobrevivência às mudanças ambientais ou a ocupação de novos ambientes.
- I) Descendência: (princípio 1.9): desde que a teoria da biogênese se tornou dominante na biologia, este conceito se torna fundamental para explicar tanto a origem das células (mais especificamente falando de mitose e meiose) e organismos individuais (reprodução), quanto a origem das espécies (cladogênese). Nestes três exemplos ela pode ser vista como um processo, mas na teoria da evolução ela pode ganhar o status de uma propriedade (a descendência comum), como veremos mais adiante.

- J) Homeostase (princípios 1.4 a 1.8): um dos conceitos mais importantes para que se possa compreender a persistência dos sistemas vivos, desde células a sistemas ecológicos. Uma das características da homeostase, e que permite compreender como as condições internas de um sistema se mantêm constantes mesmo frente a perturbações externas, é a resiliência (conceito que também pode ser considerado como estruturante). Processos regulatórios também possuem grande importância para que um sistema homeostático mantenha sua resiliência, tornando o conceito de regulação relevante e conferindo-lhe papel estruturante.
- K) Função: o discurso funcional está presente com bastante frequência na biologia, não só na biologia funcional, mas também na biologia evolutiva, daí nossa escolha em incluir este conceito, ainda que ele não figure explicitamente na proposta de Scheiner. Consideramos que seu uso não deve ser visto unicamente como metafórico, mas como tendo potencial estruturante. Tal potencial é maior no âmbito da biologia funcional (onde a abordagem sistêmica de Cummins possui grande aplicabilidade), mas menor quando se trata da biologia evolutiva (em que a abordagem etiológica selecionista de Wright pode ser utilizada, mas apenas ao se tratar de características fixadas na população por meio da seleção natural). Para uma discussão mais detalhada sobre essas duas abordagens e seu papel no pensamento biológico, ver Nunes-Neto e El-Hani (2009).

Observando esta lista, algumas coisas são facilmente perceptíveis. A primeira é que alguns conceitos são, como comentamos anteriormente, altamente abstratos e de difícil apreensão (ou de pouca aplicação) fora de um contexto mais específico, justificando a necessidade de mobilizar outros conceitos em teorias constituintes mais específicas. No caso de alguns outros, já se trabalham as consequências dos conceitos, mas sem que eles sejam explicitados.

Outros são citados explicitamente, mas deixados de lado logo após, como, por exemplo, “homeostase”, que frequentemente é citado em capítulos introdutórios dos livros didáticos como uma característica dos organismos vivos, mas que raramente é mencionado nos capítulos de fisiologia, por exemplo. Explica-se com profusão de detalhes como funcionam os tecidos e sistemas

de um organismo, mas não se explicita que todas as funções desempenhadas por essas partes contribuem para a manutenção da estabilidade do sistema, como eles influenciam na resiliência e como surgem e são resolvidos conflitos (*trade-offs*) entre tais funções. Imagina-se, então, que tais sistemas funcionam independentes de um organismo coeso de funcionamento intrincado¹⁷. Subaproveita-se, assim, o potencial estruturante do conceito.

Além dos conceitos presentes na teoria da biologia, ideias que não pertencem exclusivamente à biologia também são úteis. A modelagem de mecanismos, mencionada anteriormente, é um exemplo. Outros exemplos incluem a ideia de função e outras tantas vindas da teoria dos sistemas (como o conceito de modularidade, muito útil na teoria dos organismos). Neste trabalho, comentaremos com um pouco mais de detalhes apenas duas delas, aplicadas à teoria da ecologia: as ideias de hierarquias e de causalidade, tratadas mais adiante.

6.1 OS CONCEITOS ESTRUTURANTES DA EVOLUÇÃO

Trataremos agora da teoria da evolução, tendo em mente que ela procura descrever e explicar os padrões de mudanças das características dos sistemas vivos, bem como suas causas e consequências, ao longo das gerações e das eras geológicas. Iremos focar os aspectos mais gerais da teoria e não abordaremos as teorias constituinte mais específicas. Também não abordaremos modelos, uma vez que modelos evolutivos são, em geral, de aplicação restrita e construídos para dar conta de situações e contextos muito específicos. É interessante notar que diversos dos princípios presentes da tabela 6 do Anexo A adquirem interpretações diferentes quando aplicadas a teorias constituintes ou modelos, podendo, inclusive, ter diferentes relevâncias em diferentes contextos. Propomos então a seguinte lista, que consideramos fornecer um bom ponto de partida para discussões e aprimoramentos futuros:

¹⁷ Ao leitor mais atento a linguagem utilizada por nós neste trabalho (e também a utilizada por Scheiner para descrever diversos princípios gerais) podem oferecer indícios de uma abordagem implicitamente teleológica dos sistemas vivos. Gostaríamos de explicitar que nossa abordagem de fato é teleológica, sendo que tal maneira de pensar não é incompatível com uma visão de ciência que não se compromete com entidades não naturais como parte da explicação de fenômenos naturais. Para maiores elaborações sobre o papel da teleologia no pensamento biológico, ver Caponi (2000, 2002).

- A) Descendência com modificação (princípio 6.1): característica mais básica do que é a evolução, sendo que Darwin assim a definiu (RIDLEY, 2004). Permite uma conexão imediata com a teoria de organismo por meio do conceito de reprodução. Uma vez que se interessa pelas mudanças ocorridas em organismos individuais, mas por aquelas ocorridas em populações ao longo das gerações, permite uma conexão imediata com a teoria da ecologia por meio do conceito de populações. Envolve a compreensão dos conceitos de **mudança e descendência**, mencionados acima.
- B) Linhagem (princípio 6.2)
- C) Cladogênese (princípio 6.2): embora o princípio 2 se refira a linhagens (um termo mais geral e que se refere a mais do que simplesmente espécies), preferimos chamar atenção para um processo que se dá em sistemas do nível de organismo ou de nível taxonômico superior, uma vez que a ideia de linhagens de genes, por exemplo, figurará em modelos mais específicos da teoria da genética. O conceito de cladogênese envolve a compreensão dos conceitos de **persistência, variação e descendência** da teoria da biologia.
- D) Ancestralidade comum (princípio 6.3): esta propriedade dos grupos vivos é o resultado direto dos processos de cladogênese. Juntos, esses dois conceitos fornecem as bases para a compreensão de porque as linhagens compartilham características comuns. O conceito de ancestralidade comum é mais um que se relaciona com a compreensão do conceito de **descendência**.
- E) Variação genotípica e variação fenotípica (princípios 6.4 e 6.5): uma vez que linhagens evoluem, e não indivíduos, a existência de variações é imprescindível. É por meio dessas propriedades que é possível estabelecer conexões entre a teoria da evolução e as teorias da genética (que trata dos processos que levam ao surgimento de variações genotípicas) e de organismo (que explica como as variações genotípicas se expressam em fenótipos e até mesmo como algumas variações fenotípicas surgem de forma independente do genótipo). Obviamente, o conceito de **variação**, presente na teoria da biologia, é de grande importância para estes dois conceitos.

- F) Contingência (princípio 6.6): ainda que a ideia de aleatoriedade e determinismo sejam aplicadas e melhor delineadas em teorias constituintes e modelos (recebendo, inclusive, diferentes destaques entre eles) em um âmbito mais geral da teoria evolutiva, a ideia de contingência é a que melhor expressa a falta de determinismo presente em muitos processos evolutivos, ainda que eles não sejam aleatórios. A contingência é uma propriedade de sistemas complexos cujas partes interagem de forma intrincada e não linear, além de possuírem componentes estocásticos, tornando impossíveis previsões mesmo que conheçamos todas as condições anteriores; entretanto, isso não impede que sejamos capazes de explicar os eventos já acontecidos, ainda que as sequências de acontecimentos sejam únicas e não passíveis de repetição (GOULD, 2002. Ver também BEATTY, 1995). A ideia de contingência é bem exemplificada se pensarmos que, se fosse possível estabelecer as mesmas condições iniciais para duas populações, ainda assim elas poderiam tomar rumos evolutivos bastante diferentes ao longo dos milênios. Este conceito é classificado com um descritor, uma vez que classifica certos tipos de processos, distinguindo-os dos processos determinísticos e dos processos aleatórios.
- G) Seleção natural (princípio 6.6): tradicionalmente compreendido como o principal processo evolutivo, ainda que não o único. A importância relativa dos vários processos tem sido objeto de debate, principalmente no âmbito da síntese estendida. Sendo considerada um modelo, permite estabelecer conexões entre a teoria da evolução e as teorias da genética (através do conceito de variação e herdabilidade), de organismo (através do conceito de reprodução) e da ecologia (através do conceito de interação com o ambiente).
- H) Bricolagem (princípio 6.7): nenhuma característica dos organismos surge do nada, mas de características preexistentes, em que partes são utilizadas para criar algo novo. François Jacob (1977) esclarece que a evolução não ocorre de forma semelhante ao trabalho de um engenheiro (que tem um projeto em mente e busca as peças que melhor servirão para realizá-lo), e si ao trabalho de um remendão (No original, “*tinkerer*”, algo como um inventor de fundo de quintal que trabalha com as peças disponíveis e de improviso, utilizando componentes para funções diferentes daquelas para as quais foram originalmente pensadas).

A este processo damos o nome de bricolagem. As partes utilizadas podem ser desde genes duplicados, em que uma das cópias ganha uma nova função, até mesmo estruturas macroscópicas, como as penas das aves, que originalmente serviam para regulação térmica e ganharam a função de auxiliar no voo. No âmbito da síntese estendida, essa ideia é importante para compreensão, inclusive, das restrições desenvolvimentais, já que o estudo das restrições tenta levar à compreensão de como novidades afetam e são afetadas pelas relações já estabelecidas entre outras características que não sofreram modificações. Aqui, novamente, o conceito de **descendência** se faz importante, já que as características de um ser vivo são herdadas de seus ancestrais.

- I) Taxa evolutiva (princípio 6.8): os processos evolutivos podem atuar em diferentes velocidades. Esta propriedade é aprofundada em dois modelos, o de gradualismo, que aborda eventos evolutivos mais lentos, e o de equilíbrio pontuado, que trata de eventos mais rápidos.
- J) Tempo geológico: fundamental para a compreensão da escala temporal em que processos evolutivos ocorrem. Ainda que no modelo do equilíbrio pontuado, por exemplo, se considerem eventos evolutivos considerados rápidos, eles ocorrem ao longo de alguns milhares de anos. Este conceito pode ser encaixado na categoria dos descritores, uma vez que é classificado como diferente do tempo de vida um humano.

De posse dessa lista, percebemos que podemos tratar a teoria da evolução com base em quatro processos (descendência com modificação, cladogênese, seleção natural e bricolagem) e seis descritores (três classificações: linhagem, contingência e tempo geológico; e três propriedades: ancestralidade comum, variação fenotípica e genotípica, e taxa evolutiva). Dentro do processo de seleção natural, é possível tratarmos dos componentes deste processo: indivíduos compõem as populações, por exemplo. Temos o seguinte texto base:

A evolução é um processo de descendência com modificação em que as características das linhagens se alteram ao longo do tempo. A diversidade de formas de vida atualmente encontrada no planeta é fruto deste processo, sendo que linhagens geram novas linhagens por cladogênese. Isso faz com que todas as espécies compartilhem entre si, em algum grau, ancestrais comuns. É também por esse motivo que, quanto mais próximas forem duas espécies, mais características em comum elas terão. Como os processos evolutivos não criam novas estruturas, novas características surgirão em uma linhagem apenas por meio de modificações em características herdadas, um processo de conhecido como bricolagem.

Para que a evolução ocorra, é necessário que haja variações fenotípicas herdáveis (que podem ou não estar ligadas a variações genotípicas) nas linhagens de organismos. As frequências dessas variações, então, são alteradas por meio de diversos processos. Entre estes processos, está a seleção natural. Ela consiste no aumento da frequência de uma variação na população ao longo das gerações por ela dotar os organismos que a possuem de maior ou menor sucesso relativo em sobreviver e se reproduzir frente às pressões seletivas. Uma vez que uma variação é fixada como resultado da seleção natural, ela passa a ser considerada uma adaptação.

A depender de suas características, as diferentes linhagens podem apresentar diferentes taxas evolutivas, evoluindo de forma lenta e gradual, ou de forma mais rápida, com períodos de estase interrompidos por curtos períodos de mudança. Porém, em ambos os casos, os processos evolutivos ocorrem ao longo de milhares de anos, na escala do tempo geológico.

Por fim, a evolução sofre influência de contingências, não sendo um processo determinístico.

A partir desse texto, podemos estabelecer as seguintes relações semânticas entre os conceitos que selecionamos e outros termos necessários a suas relações:

- Evolução *Sin* Descendência com modificação
- Descendência com modificação *Pr/Pc* [Características *Atr/Co* Linhagens]
- Linhagem *Ag/Pr* Cladogênese
- Cladogênese *Pr/Rs* Linhagem
- Cladogênese *Cs/Cq* Descendência comum
- Bricolagem *Pr/Rs* [Novas *Atr/Co* Características]
- [Variações *Co/Atr* Herdáveis] *Cnd/It* Evolução
- Seleção natural *Pr/Rs* Adaptação
- Frequência *Atr/Co* Variações
- [Frequência *Med/Pr* Alterada] *Cq/Cs* [Organismos *Co/Atr* Sucesso em sobreviver]
- [Frequência *Med/Pr* Alterada] *Pr/Med* População

- Organismos *Co/Atr* Sucesso em se reproduzir
- Sucesso em sobreviver *It/Cnd* Pressões seletivas.
- Sucesso em se reproduzir *It/Cnd* Pressões seletivas.
- [Variação *Med/Pc* fixada] *Sin* adaptação
- Características *Cnd/It* Taxa evolutiva
- Evolução *Pr/Tmp* Tempo geológico
- Evolução *Pc/Ag* Contingência

Para representar as relações acima, as seguintes abreviações foram utilizadas: Ag - agente; Atr - atributo; Cnd - condição; Co - coisa; Cq - consequência; Cs - causa; Elb – Elaboração; It - item condicionado ou elaborado; Med - meio; Pc - paciente; Pr - processo; Rs - resultado; Sin - sinônimo, Tmp – tempo.

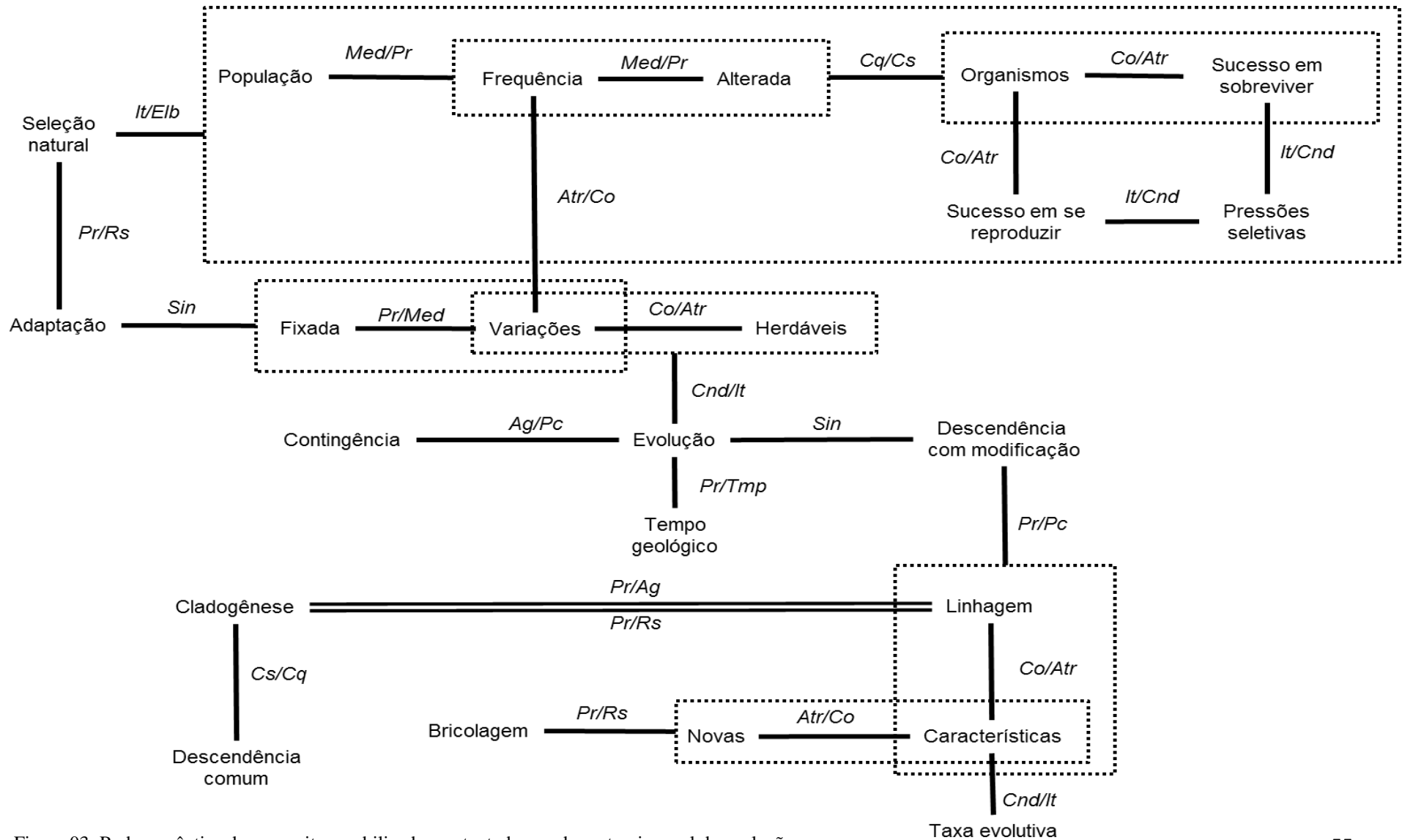


Figura 03: Rede semântica dos conceitos mobilizados no texto base sobre a teoria geral da evolução.

6.2 UMA PROPOSTA EMBRIONÁRIA PARA O ENSINO DE ECOLOGIA

A ecologia apresenta uma diversidade de áreas que, tradicionalmente, são pensadas como desconexas de um ponto de vista histórico e epistemológico. Picket e colaboradores (2007), por exemplo, identificam dois paradigmas: um deles focando nos organismos (paradigma das populações) e outro no fluxo de matéria e energia (paradigma dos ecossistemas). Ao definir o domínio da ecologia como os “padrões espaciais e temporais de distribuição e abundância dos organismos, incluindo suas causas e consequências” (SCHEINER & WILLIG, 2011, p. 10), é possível estabelecer uma unidade teórica entre as várias subáreas e facilitar a integração entre os dois paradigmas. Enquanto algumas teorias constituintes da ecologia tratam de espécies, indivíduos e traços ou consequências de indivíduos (como a ecologia de indivíduos, de populações ou de comunidades), outras tratarão das consequências das atividades, abundâncias e distribuições de organismos (teoria de ecossistemas, que estuda fluxos e concentrações¹⁸ de elementos e energia), ou seja, de conjuntos de consequências de espécies, indivíduos ou traços de indivíduos (SCHEINER & WILLIG, 2011).

Os princípios fundamentais da teoria da ecologia (tabela 5 do Anexo A) permitem, então, identificar premissas que podem ser assumidas por diversos campos aparentemente dispartados da ecologia. Ao tomar conhecimento do domínio de uma teoria constituinte (e, portanto, dos fenômenos que são por ela estudados, bem como daqueles que são deixados de lado), alguém interessado em aprender sobre uma subárea da ecologia pode compreender que princípios e que aspectos mais específicos destes princípios são por ela tomados como pressupostos para a construção de seus modelos.

Ao sair do ensino médio, o estudante deve ter conhecimento dos conceitos que figuram nos princípios gerais e assim ser capaz de compreender como eles variam e se articulam entre si nas teorias constituintes e nos modelos. O pano de fundo conceitual de Scheiner cumpriria, então, um papel heurístico para que cada estudante seja capaz de procurar nos níveis superiores os elementos utilizados nos níveis inferiores. Willig e Scheiner (2011) chamam atenção para o fato de que não

¹⁸ No original, *pools*.

existem teorias constituintes centrais à teoria da ecologia, mas que elas se conectam e se superpõem, e isso é uma característica definitiva desta área da biologia. Por isso achamos mais proveitoso que, vez de serem apresentados aos detalhes de diversas teorias e modelos pertencentes às diferentes subáreas da ecologia, os estudantes apenas tomem conhecimento dos objetos de pesquisa de cada subárea e dos conceitos mais importantes para sua compreensão.

Uma vez que há uma quantidade enciclopédica de modelos na ecologia, sugerimos que sejam selecionados alguns modelos para serem apresentados aos estudantes como forma de exemplificar e facilitar o entendimento de como se dá a articulação de alguns conceitos. Além disso, deve-se deixar claro para os estudantes que parte fundamental da ecologia é entender as condições que favorecem a utilização de um modelo em vez de outro, e quais as relações entre estas condições e os pressupostos de cada modelo (WILLIG & SCHEINER, 2011). Não estabeleceremos aqui critérios adicionais para essa escolha, mas sugerimos que ela não se dê apenas por que alguns modelos já são tradicionalmente ensinados (como o modelo de dinâmica populacional, por exemplo) familiares aos docentes, e sim por motivos que levem em conta a relevância de tal modelo para a compreensão de uma questão social relevante no contexto de ensino (ou seja, sua legitimidade social).

Iremos aqui apresentar os conceitos presentes nos princípios gerais da teoria da ecologia e mostrar como eles são elencados em algumas de suas teorias constituintes de nível mais abrangente. Ainda não é possível identificar tais relações para todas as teorias constituintes, pois nem todas foram ainda apresentadas de maneira formalizada, embora alguns esforços já tenham sido feitos para algumas (*e.g.* CHASE, 2011; PICKET *et al*, 2011; BURKE & LAUENROTH, 2011) e Scheiner e Willig (2008, 2011) estimulem que mais autores façam o mesmo tipo de trabalho em outras áreas da ecologia. A lista abaixo pode parecer muito básica, mas é um excelente começo a partir do qual melhorias podem ser feitas com o avançar das discussões no âmbito do ensino de ciências:

- A) Distribuição heterogênea: todas as espécies se distribuem de forma desigual no espaço de alguma forma. Essa propriedade é causa e efeito de outros processos e padrões ecológicos e será objeto de explicação de algumas teorias constituintes (na ecologia de populações, por

exemplo, e na ecologia de paisagens, que reconhece os organismos como distribuídos em diferentes biomas), enquanto outras explorarão suas consequências (como a ecologia de ecossistemas). O conceito de distribuição heterogênea também pode ser articulado com o conceito de **variação**, da teoria da biologia. Por exemplo, é a distribuição desigual de espécies que explica, em parte, a diversidade de comunidades.

- B) Interações ambientais: as interações dos organismos com outros organismos (ambiente biótico) ou com o ambiente abiótico à sua volta são processos que devem ser levados em consideração se queremos compreender como a heterogeneidade de distribuição se origina. A importância relativa de cada tipo de interação varia de acordo com a subárea da ecologia e mesmo de acordo com os modelos de uma mesma subárea. Na ecologia de indivíduos, por exemplo, interações com o ambiente biótico ocupam lugar de destaque no estudo de predação e mutualismo, enquanto na teoria de nicho os dois ambientes terão igual importância. Obviamente, este conceito é uma aplicação mais específica do conceito de **interação**, da teoria da biologia.
- C) Variação dos organismos: esta propriedade é de especial importância para as subáreas da ecologia que se ocupam de estudar organismos ou conjuntos de organismos. Os estudos sobre dinâmica populacional, por exemplo, se baseiam fortemente neste conceito (como as características dos diferentes indivíduos afetam as taxas de natalidade e mortalidade de uma população?). Já na ecologia de ecossistemas, a diferença entre organismos autotróficos e heterotróficos é fundamental (BURKE & LAURENROTH, 2011). Entretanto, em outras subáreas as variações podem ser ignoradas sem maiores implicações. Este conceito é claramente uma versão mais específica do conceito de **variação** da teoria da biologia e estabelece uma conexão entre as teorias da ecologia e de organismos.
- D) Contingência: processos contingentes são causas importantes da distribuição dos organismos no tempo e no espaço, seja em pequena escala (como uma semente ser levada pela água para um lugar e não para outro) ou em larga escala (como uma espécie estar presente em um continente, mas não em outro) (SCHEINER & WILLIG, 2011). A ecologia aplica mais especificamente o conceito de **contingência**, da teoria da biologia.

- E) Heterogeneidade das condições ambientais: esta propriedade dos sistemas ecológicos é fruto de fenômenos estudados tanto pelas geociências (quando os fatores ambientais são abióticos) quanto pela teoria de organismos (quando os fatores ambientais são bióticos, inclusive tendo o princípio dois da teoria de ecologia como premissa para sua explicação).
- F) Finitude e heterogeneidade dos recursos: O mesmo dito sobre as condições ambientais se aplica aos recursos, com a diferença de que estes são finitos e aqueles não.
- G) Taxa de natalidade e taxa de mortalidade: ainda que os processos de nascimento e morte sejam estudados pela teoria dos organismos, as taxas em que eles ocorrem serão propriedades influenciadas em grande parte por fenômenos estudados pela ecologia, em consequência das interações enunciadas no segundo princípio fundamental desta teoria. Relacionam-se com os conceitos de **interação** e, no caso da taxa de natalidade, de **descendência**, da teoria da biologia.
- H) Evolução: fenômenos ecológicos e fenômenos evolutivos se influenciam mutuamente. Enquanto as propriedades dos organismos (que são fruto da evolução) estabelecem parte das condições necessárias aos fenômenos ecológicos, é por meio de fenômenos ecológicos (os que interferem na composição das linhagens) que a evolução ocorrerá. Ou, como coloca Odenbaugh (2011), processos ecológicos atuais estão em ação por causa de processos evolutivos passados, enquanto processos evolutivos atuais agem por causa de processos ecológicos passados. Obviamente, este conceito relaciona a teoria da ecologia com a teoria da evolução.

Além dos conceitos listados acima, os estudantes precisariam de noções de hierarquia. Assim, poderiam compreender como os sistemas ecológicos podem ser divididos para fins de estudos e compreender quais níveis fazem parte dos domínios das teorias constituintes: organismos individuais, populações, conjuntos de populações de uma mesma espécie, comunidades, ecossistemas ou biomas. Pickett e colaboradores (2007) dão um bom exemplo de como o reconhecimento de níveis hierárquicos de organização dos sistemas ecológicos interfere na compreensão de fenômenos ecológicos: ao estudarmos como duas espécies interagem entre si e

como isso interfere na obtenção de um recurso, uma abordagem baseada no nível das populações pode ser proveitosa. Porém, se incluirmos em nossa análise uma terceira espécie que interage apenas com o recurso em questão, torna-se necessário subir um nível na hierarquia e tratar da questão do ponto de vista da ecologia de comunidades.

A figura 04 mostra a proposta de Willig e Scheiner (2011) para uma modelagem hierárquica das entidades vivas, sendo que a ecologia trataria dos níveis acima do nível de indivíduos. Cada um dos níveis à esquerda interage com a matéria e a energia, formando os sistemas vivos à direita. Outras conexões entre os níveis (não representadas na figura) podem ser pensadas para representar o ciclo da matéria e o fluxo da energia.

Além da ideia de hierarquias, os estudantes também devem possuir noções sobre causalidade. A concepção cotidiana de causalidade simples (uma causa tem um efeito) tem aplicabilidade limitada na ecologia. Para melhor compreender os fenômenos ecológicos, os estudantes devem estar cientes de que múltiplas causas podem contribuir para um mesmo efeito e que a causalidade nem sempre é linear (PICKETT *et al*, 2007). Além disso, relações ecológicas variam ao longo dos níveis da hierarquia e ocorrem interações entre os componentes de um nível e componentes de níveis diferentes. Propriedades de um nível podem ser geradas pela interação entre os componentes do nível inferior (inclusive de forma que não podem ser reduzidas à propriedades dos componentes, ou seja, são propriedades emergentes), ou até mesmo por processos ocorridos em níveis superiores (WILLIG & SCHEINER, 2011). Não estamos sugerindo que sejam feitas profundas reflexões sobre causalidade no ensino médio, apenas que algumas noções sejam incluídas no currículo.

Podemos pensar, então, que o estudo da ecologia se daria em torno da consideração de cinco descritores relativos a propriedades (distribuição heterogênea, variação dos organismos, heterogeneidade das condições ambientais, finitude e heterogeneidade dos recursos, e taxas de natalidade e mortalidade) e um relativo a classificação (contingência). Além disso, estariam envolvidos dois processos, o de evolução e o de interação (este pode servir de base para outras classificações, como é feito ao se dividir as interações entre intraespecíficas e interespecíficas, por exemplo).

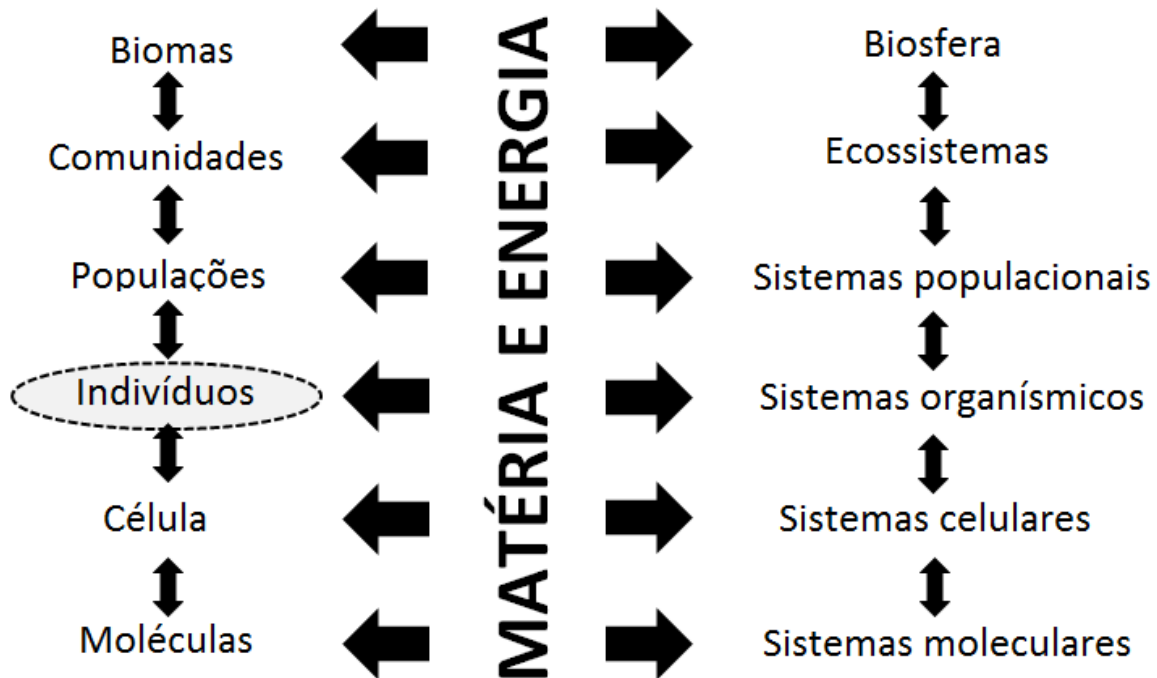


Figura 04: Modelagem hierárquica das entidades vivas. Traduzido a partir da figura 15.1 de Willig & Scheiner (2011, p. 335).

Ao primeiro olhar, nossa proposta deixa de fora conceitos próprios da ecologia de ecossistemas que são considerados como estruturantes por outros trabalhos, como ecossistemas, redes tróficas, fluxo de energia e ciclos biogeoquímicos (*e.g.* BERMUDEZ & LONGHI, 2008; CORREA, 2012). Entretanto isso pode ser explicado por nossa escolha de utilizar o pano de fundo conceitual de Scheiner, que busca identificar ideias gerais que permeiam não só um, mas ambos os paradigmas indicados por Picket e colaboradores. A ecologia de ecossistemas possui uma dependência de conceitos pertencentes às geociências que não é encontrada na ecologia de organismos. Entretanto, isso não impede que os conceitos sugeridos por Garcia e outros autores sejam considerados como estruturantes dentro de uma teoria constituinte que trate especificamente de ecossistemas (para uma proposta de como seria esta teoria constituinte, ver Burke & Lauenroth (2001)), o que poderia legitimar sua abordagem também em sala de aula. Ademais, não existem

motivos para acreditarmos, *a priori*, que tais conceitos não poderiam receber papel de maior destaque no pano de fundo de Scheiner em futuras revisões.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, propomos critérios para reduzir o número de conteúdos conceituais presentes no currículo de biologia do ensino médio como objetivos de aprendizagem, utilizando, em um primeiro nível, a ideia de conceitos estruturantes de Gagliardi (1986). Além dessa redução, nossa proposta também permite reestruturar o currículo, possibilitando um ensino que vá além de uma visão da biologia fragmentada em subáreas e que dê maior ênfase a conceitos que explicitem os pontos de contato entre elas. Esta reestruturação se baseia na proposta de uma moldura conceitual do conhecimento biológico sugerida por Scheiner (2010), a partir da qual podemos também reconhecer os conceitos estruturantes da biologia e identificar quais permeiam áreas aparentemente tão díspares quanto, por exemplo, a botânica, a zoologia e a microbiologia, que se baseiam em grande parte nos princípios fundamentais da teoria de organismos.

Além disso, defendemos que se leve em conta no ensino a natureza dual da biologia, composta de duas tradições de pesquisa complementares como proposto por Mayr (1961, 2005, 2008) e, posteriormente, elaborado por Caponi (2008, 2013) (a biologia evolutiva, que trata de fenômenos que alteram a composição das linhagens biológicas, e a biologia funcional, que estuda fenômenos que não alteram tal composição). Após reconhecermos essa dualidade, percebemos que um ensino que priorize uma tradição sobre outra resulta em uma compreensão incompleta da biologia, o que pode ser evitado se buscarmos estabelecer um maior equilíbrio entre o destaque dado a conteúdos que pertencem a cada uma das biologias. Por fim, defendemos que o ensino de biologia também deve reduzir o número de conceitos relacionados aos componentes dos sistemas biológicos, dando maior ênfase àqueles que se adereçam a processos e a descritores.

Reforçamos que o objetivo deste trabalho não é propor um currículo completo, nem propor critérios a serem imediatamente implantados pelos professores em sala de aula. Antes, nossa intenção é continuar nosso trabalho anterior e promover discussões sobre o assunto, inicialmente em

âmbito acadêmico, e, posteriormente, fornecer subsídios para a mudança de políticas curriculares. É imprescindível que os diversos atores do sistema educativo se envolvam neste debate e contribuam a partir de seus diferentes pontos de vista, de forma que nossas ideias sejam criticadas e amadurecidas.

Concordamos com Rosenthal (1990) em que, para promover mudanças no currículo de forma a reduzir a quantidade de objetivos relacionados ao conhecimento¹⁹, é necessário um esforço conjunto de todas as partes da comunidade de ensino de ciências, incluindo professores (em formação ou já atuantes), cientistas e educadores, sendo que o protagonismo não se limitaria aos dois últimos. Aqui, não nos dirigimos prioritariamente aos professores, mas concordamos que eles devem fazer parte dessa discussão em vista do que Goodson (2003 *apud* VIÑAO, 2008) aponta: o currículo prescrito não se faz apenas pelos órgãos políticos e administrativos, mas também pelas instituições docentes e nos planejamentos e planos de aula que os professores redigem. Tendo em vista que nossa proposta tem implicações diretas para este nível do currículo e que são os docentes que, em última análise, realizarão as atividades didáticas que mencionamos brevemente acima (incluindo a integração entre as dimensões epistemológica, psicológica e didática dos conceitos estruturantes), suas contribuições para essa discussão não devem ser negligenciadas.

De fato, envolver os docentes nesta discussão traz outra vantagem: eles podem usar de sua autonomia em sala de aula para por em prática as ideias aqui discutidas uma vez que elas tenham atingido maturidade o suficiente para serem aplicadas. Ao levarmos em consideração esta autonomia, deixamos de lado a perspectiva de que mudanças curriculares devem partir sempre dos níveis mais abrangentes do sistema educacional e passamos a perceber o potencial que os docentes têm de subverter o currículo desde dentro. Ou seja, eles podem promover mudanças a partir dos níveis menos abrangentes do sistema. Assim, embora nosso objetivo inicial com este trabalho seja

¹⁹ Rosenthal classifica os objetivos do currículo enquanto voltados ao conhecimento, ao método, ao pessoal e ao social. É possível estabelecer uma correlação entre estas categorias e as propostas por Coll, explicadas no começo do texto: os objetivos voltados ao conhecimento se relacionam principalmente aos conteúdos conceituais; os voltados ao método se superpõem aos conteúdos procedimentais; e os objetivos direcionados ao pessoal e ao social envolvem conteúdos atitudinais.

dialogar com os níveis nacionais de currículo, nada impede que ações sejam tomadas nos níveis municipal e estadual.

Rosenthal (1990) também ressalta que muitas características do ensino de biologia atual resultam de práticas iniciadas há muitos anos. Este é um fator que consideramos relevante ponderar. A forma fragmentada como o currículo atual se estrutura é fruto de uma tradição de ensino baseada inicialmente na história natural, divididas inicialmente entre botânica e zoologia, depois acrescida dos outros temas de forma aglutinativa. Acreditamos que os problemas que essa abordagem traz são suficientes para justificar uma mudança de estratégia. Embora o peso da tradição seja grande, não podemos nos deixar paralisar por ele.

Este peso se faz sentir de diversas formas. Chamamos atenção para algo que os professores podem experimentar: o incômodo e a estranheza de deixar de lado temas que tradicionalmente são ensinados há décadas. Ao levarmos em consideração os critérios que propomos aqui, temas como a morfologia floral, por exemplo, que não trazem conceitos estruturantes, nem são úteis para a compreensão deles, poderiam ser deixados de fora do currículo. Todavia, o preço de lidar com a estranheza é pequeno frente aos benefícios de um ensino mais efetivo.

Além do incômodo de abandonar o familiar, existe também o esforço de abraçar o novo. Mencionamos aqui conceitos não figuram atualmente nos currículos. Entretanto, existe aí outro fator a se considerar antes de incluí-los: a possibilidade de realizar a transposição didática destes conceitos. Como discutimos acima, nos parece que pelo menos alguns deles são abstratos de mais para serem ensinados no ensino médio. Este é mais um ponto de nossa proposta a ser discutido antes de qualquer tipo de implementação (como integrar os conceitos estruturantes de um ponto vista epistemológico com os conceitos estruturantes considerados a partir das lentes do psicológico e do didático), mas é um assunto a ser tratado com maior profundidade em trabalhos futuros.

Não defendemos que os conteúdos conceituais do currículo sejam selecionados apenas com base em seu papel estruturante para a compreensão da estrutura conceitual da biologia. Nos parece, entretanto, que dificilmente conteúdos com legitimidade social deixariam de oferecer oportunidades para que se trate em sala de aula dos conceitos estruturantes. Um bom exemplo é a inclusão nos currículos do tema verminoses, que permitem abordar conceitos como ciclo de vida além de

auxiliarem a manutenção da saúde pública nos locais em que o risco dessas doenças existe. Aqui, novamente, queremos destacar a importância dos docentes na construção do currículo. Ao decidir o que ensinar, os docentes poderiam ter em mente os conceitos estruturantes a serem trabalhados, escolhendo a partir daí temas de interesse social que deles dependam para serem compreendidos. Neste ponto, a autonomia dos docentes cumpre um importante papel, uma vez que lhes permite selecionar os temas de acordo com os interesses dos estudantes e da sociedade em nível local, estadual ou nacional. Além disso, eles podem também pensar que temas que proporcionam uma melhor abordagem de conceitos estruturantes do ponto de vista psicológico e didático, produzindo intervenções que levem em conta as especificidades dos estudantes.

Tendo em vista que um currículo não é composto apenas de conteúdos conceituais dotados apenas de validade epistemológica, consideramos o presente trabalho como apenas uma parte de um projeto maior, com uma concepção de currículo que inclui também os conteúdos procedimentais e atitudinais, considerando também as validades social e axiológica além da epistemológica. Certamente, há muito a se pensar sobre as relações entre os tipos de conteúdo e suas validades, mas estes são temas a serem tratados em outras oportunidades.

REFERÊNCIAS

AHL, V.; ALLEN, T. F. H. *Hierarchy theory: a vision, vocabulary and epistemology*. New York: Columbia University Press, 1996.

AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. *Benchmarks for Science Literacy*. Disponível em <<http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php>>. Acesso em: 15 dez. 2014

ARIEW, A. Ernst Mayr's 'ultimate/proximate' distinction reconsidered and reconstructed. *Biology and Philosophy*, n. 18, p. 553-565, 2003;

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

BEATTY, J. The evolutionary contingency thesis. In WOLTER, G.; LENNOX, J. .G. (org.). *Concepts, Theories, and Rationality in the Biological Sciences*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1995,

BERMUDEZ, G.; LONGHI, A. L. La educación ambiental y la ecología como ciencia. Una discusión necesaria para la enseñanza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 7, n. 2, p. 275-297, 2008.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>. Acesso em: 21 jan. 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. *Parâmetros curriculares nacionais*. Ministério da Educação, 2000.

_____. *PCN+*. Ministério da Educação, 2002.

BRUNER, J. *The process of education*. Cambridge: Harvard University Press, 1977.

BURKE, I. C.; LAURENROTH, W.K. Theory of ecosystem ecology. In SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R (Org.). *The theory of ecology*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.

CARVALHO, I. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Como Selecionar Conteúdos de Biologia para o Ensino Médio? *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v. 1, n. 1, p. 67-100, 2011.

CARVALHO, I. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Padrões, processos e componentes sistêmicos no ensino médio de Biologia. In: *Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (IX ENPEC)*. Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação Ciências, 2014.

CALCOTT, B. Why how and why aren't enough: more problems with Mayr's proximate-ultimate distinction. *Biology & Philosophy*, n. 28, p. 767-789, 2013.

CAPONI, G. Charles Darwin y la naturalización de la teleología. *Revista Reflexão*, n. 78, p. 69-75, 2000.

_____. Biología Funcional vs. Biología Evolutiva. *Episteme*, n. 12, p. 23-46, 2001.

_____. Explicación seccional e explicación funcional: la teleología en la biología contemporánea. *Episteme*, n. 14, p. 57-88, 2002.

_____. O darwinismo e seu outro: a teoria transformacional da evolução. *Scientiae Studia*, n. 3, v. 2, p. 233-242, 2005.

_____. Física del organismo vs hermenéutica del viviente: el alcance del programa reduccionista en la biología contemporánea. *História, Ciência, Saúde – Manguinhos*, v. 14, n. 2, p. 443-468, 2007.

_____. La biología evolucionaria del desarrollo como ciencia de causas remotas. *Signos Filosóficos*, v. 19, n. 20, p. 121-142, 2008.

_____. El concepto de presión selectiva y la dicotomía próximo-remoto. *Revista de filosofía Aurora*, v. 25, n. 36, p. 197-216, 2013.

- CHASE, J. M. Ecological niche theory. In SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R (Org.). *The theory of ecology*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.
- CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*, 3 ed. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1998.
- CHIAPPETTA, E. L.; FILLMAN, D. A. Clarifying the Place of Essential Topics and Unifying Principles in High School Biology. *School Science and Mathematics*, v. 98, n. 1, p. 12-17, 1998.
- CLEMENT, P. Didactic Transposition and the KVP Model: Conceptions as Interactions Between Scientific Knowledge, Values and Social Practices. In *Proceedings of the Summer School of ESERA*. Braga: Universidade do Minho, 2006.
- COLL, C.; POZO, J. I.; SARAIBA, B.; VALLS, E. *Los contenidos em la reforma*. Madrid: Grupo Santillana de Ediciones, 1992.
- CORREA, C. A. Los conceptos estructurantes de ecología como fundamento conceptual y metodológico de la educación ambiental. *Extramuros*, 2012.
- CRAVER, C. F.; BECHTEL, W. Mechanism. In SARKAR, S. & PFEIFER, J. (Eds.), *Philosophy of science: an encyclopedia*. New York: Routledge, p. 469-478, 2006.
- DUKE, N. K.; BECK, S. W. Education should consider alternative formats for the dissertation. *Educational researcher*, v. 28, n. 3, p. 31-36, 1999.
- EL-HANI, C. N.; QUEIROZ, J. & EMMECHE, C. *Genes, information, and semiosis*. Tartu: Tartu University Press, Tartu Semiotics Library, 2009.
- FERREIRA, M. S.; SELLES, S. E. Entrelaçamentos históricos das ciências biológicas com a disciplina escolar: Biologia: investigando a versão azul do BSCS. In: *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 5, 2005, Bauru. Atas do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação Ciências, 2005.
- GAGLIARDI, R. Los Conceptos Estructurales en el Aprendizaje por Investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986.
- GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. Biology Teachers' Perceptions of Subject Matter Structure and its Relationship to Classroom Practice. *Journal of research in science teaching*, v. 32, n. 3, p. 301-325, 1995.
- GOULD, S. J. *The structure of evolutionary theory*. Cambridge: Harvard University Press, 2002
- GRIFFITHS, P. E. Genetic information: A metaphor in search of a theory. *Philosophy of Science*, vol. 68, n. 3, p. 394-403, 2001.
- GUIMARÃES, M. D. M et al. A Teoria Gaia É um Conteúdo Legítimo no Ensino Médio de Ciências? *Pesquisa em Educação Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 73-104, 2008.
- HAMILTON, W. D. Extraordinary Sex Ratios. *Science*, v. 156, p. 477-488, 1967.
- HARDY-VALÉE, B. *Que é um conceito?* São Paulo: Parábola, 2013.

- JABLONKA, E. Information: Its interpretation, its inheritance, and its sharing. *Philosophy of Science*, v. 69, p. 578-605, 2002.
- JACOB, F. Evolution and tinkering. *Science*, v. 196, p. 1161-1166, 1977.
- JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. *Dicionário básico de filosofia*, 5 ed. Rio de Janeiro, J. Zahar, 2001. Edição digital.
- LALAND, K. N.; STERELNY, K.; ODLING-SMEE, J.; HOPPITT, W.; ULLER, T. Cause and Effect in Biology Revisited: Is Mayr's Proximate-Ultimate Dichotomy Still Useful? *Science*, v. 334, p. 1512-1516, 2011.
- LALAND, K. N.; ODLING-SMEE, J.; HOPPITT, W.; ULLER, T. More on how and why: cause and effect in biology revisited *Biology & Philosophy*, n. 28, p. 719-745, 2013a
- _____. More on how and why: a response to commentaries. *Biology & Philosophy*, n. 28, p. 793-810, 2013b
- LEMKE, J. *Talking science: language, learning, and values*. Westport: Ablex Publishing, 1990.
- LINHARES, S. V.; GEWANDSZNAJDER, F. *Biologia hoje*, v. II, 2 ed. São Paulo: Ática, 2013.
- LOPES, S. G. B. C., ROSSO, S. *Bio*, v. II, 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
- MATTHEWS, M. *Science Teaching: the Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht: D. Reidel, 1980.
- MAYR, E. Cause and effect in biology. *Science*, v. 134, p. 1501-1506, 1961.
- _____. *Biologia: Ciência Única*. São Paulo: Companhia das Letras, 2005
- _____. *Isto é biologia: a ciência do mundo vivo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.
- MENDONÇA, V. L. *Biologia*, v III, 2 ed. São Paulo: AJS, 2013
- MINDELL, D. P.; SCHEINER, S. M. The theory of evolution, no prelo.
- MOREIRA, M. A.; AXT, R. A questão das ênfases curriculares e a formação do professor de ciências. *Caderno catarinense de ensino de física*, v. 3, n. 2, p. 66-78, 1986.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Fulfilling the Promise: Biology Education in the Nation's Schools*. Washington: National Academy Press, 1990.
- _____. *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press, 1996.
- NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. O que é função? Debates na filosofia da biologia contemporânea. *Scientiae Studia*, v. 7, n. 3, p. 353-401, 2009.
- NUNES-NETO, N. F.; MORENO, A.; EL-HANI Function in ecology: an organizational approach *Biology & Philosophy*, v. 29, n. 1, p. 123-141, 2014.

- ODENBAUGH, J. A general, unifying theory of ecology? In SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R (Org.). *The theory of ecology*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.
- PATTEE, H. H. *Hierarchy theory: The challenge of complex systems*. New York: George Braziller, 1973.
- PICKETT, S. T. A.; KOLASA, J.; JONES, C. G. *Ecological Understanding*, 2 ed. Burlington: Elsevier, 2007.
- PICKETT, S. T. A.; MCDONNELL, M. J. Changing perspectives in community dynamics: a theory of successional forces. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 4, p. 421-425, 1989.
- PICKETT, S. T. A.; MEINERS, S. J.; CADENASSO, M. L. Domain and propositions of succession theory. In SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R (Org.). *The theory of ecology*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.
- PIGLIUCCI, M. Do we need an extended synthesis? *Evolution*, v. 61, n. 12, p. 2743-2749, 2007.
- _____. On the Different Ways of “Doing Theory” in Biology. *Biological Theory*, v. 7, n. 4. p. 287-297, 2013.
- PIGLIUCCI, M., FINKELMAN, L. The extended (evolutionary) synthesis debate: where science meets philosophy. *BioScience*, v. 64, n. 6, p. 511-516, 2014
- PIGLIUCCI, M. MÜLLER, G. B. *Evolution, the extended synthesis*. Cambridge: The MIT Press, 2010.
- RESCHER, N. *Process Metaphysics: An Introduction to Process Philosophy*. Albany: State University of New York Press, 1996.
- RIDLEY, M. *Evolution*, 3 ed. Malden: Blackwell Publishing, 2004.
- ROSENTHAL, D. B. What's past Is Prologue: Lessons from the History of Biology Education. *The American Biology Teacher*, v. 52, n. 3, p. 151-155, 1990.
- SALTHE, S. N. *Evolving Hierarchical Systems*. New York: Columbia University Press, 1985.
- SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R. A general theory of ecology. *Theoretical ecology*, n. 1, p. 21-28, 2008.
- SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R. A general theory of ecology. In _____ (Org.). *The theory of ecology*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.
- SCHEINER, S. M. Toward a Conceptual Framework for Biology. *The Quarterly Review of Biology*, v. 85, n. 3, p. 293-318, 2010.
- SOUZA, M. L.; FREITAS, D. Os Conteúdos Selecionados Pelos Professores De Biologia Para A Construção Do Currículo Escolar. In: 24ª Reunião Anual da ANPEd (Associação Nacional de Pósgraduação e Pesquisa em Educação), 2001, Caxambu - MG. Associação Nacional de Pósgraduação e Pesquisa em Educação, 2001.
- THIERRY, B. Integrating proximate and ultimate causation: Just one more go! *Current Science*, v. 89, n. 7, p. 1180-1183, 2005.

VASCONCELOS, S. D.; SOUTO, E. O Livro Didático De Ciências No Ensino Fundamental – Proposta De Critérios Para Análise Do Conteúdo Zoológico. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 1, p. 93-104, 2003.

VIÑAO, A. A história das disciplinas escolares. *Revista brasileira de história da educação*, n. 18, p. 173-215, 2008.

YOUNG, M. Superando a crise na teoria do currículo: uma abordagem baseada no conhecimento. *Cadernos CENPEC*, v. 3, n. 2, p. 225-250, 2013.

_____. Teoria do currículo: o que é e por que é importante. *Cadernos de pesquisa*, v. 44, n. 151, p. 190-202, 2014

WILLIG, M. R.; SCHEINER, S. M. The state of theory in ecology. In _____ (Org.). *The theory of ecology*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.

ZABALA, A. A função social do ensino e a concepção sobre os processos de aprendizagem: instrumentos de análise. In _____. *A prática educativa*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZAMER, W. E.; SCHEINER, S. M. A Conceptual Framework for Organismal Biology: Linking Theories, Models, and Data. *Integrative and Comparative Biology*, v. 54, n. 5, p. 736-756, 2014.

ANEXO A - A teoria da biologia e as cinco teorias gerais propostas por Scheiner e colaboradores e seus respectivos princípios fundamentais (tradução nossa)

Tabela 1
O domínio e os princípios fundamentais da teoria da biologia

Domínio
A diversidade e complexidade dos sistemas vivos, incluindo suas causas e consequências
Princípios
1.1. A vida consiste de sistemas abertos, em estado de não equilíbrio e persistentes.
1.2. A célula é a unidade fundamental da vida.
1.3. A vida requer um sistema para armazenar, usar e transmitir informação.
1.4. Os sistemas vivos variam em sua composição e estrutura em todos os níveis.
1.5. Os sistemas vivos consistem de conjuntos complexos de partes interagentes.
1.6. A complexidade dos sistemas vivos produz propriedades emergentes.
1.7. A complexidade dos sistemas vivos permite a ação de contingências.
1.8. A persistência dos sistemas vivos requer que eles sejam capazes de mudar ao longo do tempo.
1.9. Os sistemas vivos surgem a partir de outros sistemas vivos.
1.10. A vida se originou de matéria não viva.

Fonte: Scheiner (2010).

Tabela 2
O domínio e os princípios fundamentais da teoria celular

Domínio
Células e as causas de sua estrutura, função e variação
Princípios
2.1. Células são sistemas altamente ordenados e espacialmente demarcados.
2.2. Células são compostas de partes heterogêneas, consistindo de subsistemas que agem de maneira a compartimentalizar recursos e processos.
2.3. Células são reguladas por redes de interações bioquímicas e supramoleculares.
2.4. Células interagem com o ambiente externo a elas, incluindo outras células.
2.5. Células trocam matéria com o meio externo através de membranas semipermeáveis que agem como barreiras.
2.6. Células necessitam de uma fonte externa de energia, seja ela química ou eletromagnética.
2.7. Células usam energia para criar gradientes de concentração de íons e moléculas.
2.8. Novas células são formadas a partir de células pré-existentes.
2.9. Células contêm toda a informação necessária para sua própria construção, operação e replicação. (*)
2.10. As propriedades das células são resultado da evolução.

(*) Esta é uma afirmação potencialmente controversa e de significado pouco claro, que inspira cuidado. Primeiro, porque o conceito de 'informação' não tem significado claro na biologia, podendo ser considerado nada mais que uma metáfora à espera de uma teoria que atribua a ela tal significado claro no contexto desta ciência (Griffiths, 2001; El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2009). Segundo, porque tem sido proposto que há diversos sistemas informacionais nos sistemas vivos, que podem influenciar a dinâmica celular e a transmissão de informações (e.g., Jablonka, 2002).

Fonte: Scheiner (2010).

Tabela 3A
O domínio e os princípios fundamentais da teoria dos organismos

Domínio
Indivíduos e as causas de sua estrutura, função e variação
Princípios
3.1. Um organismo individual mantém ativamente sua integridade estrutural e funcional.
3.2. Todos os organismos são compostos por células em algum ponto de seus ciclos de vida.
3.3. A manutenção de um nível do organismo requer mudanças dinâmicas.
3.4. Há conflitos (<i>trade-offs</i>) entre as funções organizmicas.
3.5. A manutenção do organismo ocorre em função de interações com os ambientes biótico e abiótico.
3.6. Organismos necessitam de fontes externas de matéria e energia para sua manutenção, crescimento e reprodução.
3.7. Porque os organismos são mutáveis, influências externas podem forçar a mudança.
3.8. A heterogeneidade de recursos no espaço e no tempo leva à variação nos padrões de história de vida.
3.9. A reprodução dos organismos é tanto uma causa quanto uma consequência dos processos evolutivos.
3.10. As propriedades dos organismos são resultado da evolução.
Fonte: Zamer & Scheiner (2014).

Tabela 3B
Os princípios fundamentais da subteoria dos organismos multicelulares

Princípios
3.11. A multicelularidade permite a especialização de células.
3.12. Interações entre células são necessárias para a especialização celular.
3.13. A especialização de células requer sua localização espacial e temporal em algum ponto do ciclo de vida.
3.14. A especialização de células gera propriedades emergentes no organismo.
3.15. A especialização de células permite a modularidade.
3.16. O desenvolvimento requer heterogeneidade na composição celular ou organizmica.
Fonte: Zamer & Scheiner (2014).

Tabela 4
O domínio e os princípios fundamentais da teoria da genética

Domínio
Padrões e processos de uso, armazenamento e transmissão de informação nos organismos
Princípios
4.1. A prole se assemelha à geração parental.
4.2. A fidelidade da transmissão da informação requer um sistema de correção de erros.
4.3. Uma vez que a vida é o produto da seleção natural, o sistema de informação deve ser capaz de produzir nova informação.(**)
4.4. As imperfeições na correção de erros criam nova informação.
4.5. A troca e a recombinação de informação entre indivíduos criam nova informação.
4.6. Processos aleatórios cumprem um importante papel na transmissão da informação, correção de erros e troca de informação entre indivíduos.

4.7. O sistema de utilização da informação deve ser robusto em relação à ocorrência de erros.

4.8. A utilização da informação depende do contexto.

4.9. As propriedades dos sistemas informacionais são resultado da evolução.

(**) Aqui, Scheiner se compromete com uma visão adaptacionista do processo evolutivo, o que nos parece desnecessário. Para evitar este problema, basta modificar o princípio, afirmando que “uma vez que a vida é produto do processo evolutivo, no qual a seleção natural cumpre papel importante, o sistema de informação deve ser capaz de produzir nova informação”. Tal visão adaptacionista parece estar ausente na revisão dos princípios fundamentais da teoria da evolução (ver tabela 6 abaixo)

Fonte: Scheiner (2010)

Tabela 5
O domínio e os princípios fundamentais da teoria da ecologia

Domínio
Padrões espaciais e temporais de distribuição e abundância dos organismos, incluindo suas causas e consequências
Princípios
5.1. Os organismos estão distribuídos no espaço e no tempo de maneira heterogênea.
5.2. Os organismos interagem com seus ambientes biótico e abiótico.
5.3. Variações nas características dos organismos resultam na heterogeneidade dos padrões e processos ecológicos.
5.4. A distribuição dos organismos e suas interações dependem de contingências.
5.5. As condições ambientais, enquanto percebidas pelos organismos, são heterogêneas no espaço e no tempo.
5.6. Os recursos, enquanto percebidas pelos organismos, são finitos e heterogêneos no espaço e no tempo.
5.7. Taxas de natalidade e mortalidade são uma consequência das interações com os ambientes biótico e abiótico.
5.8. As propriedades ecológicas das espécies são resultado da evolução.

Fonte: Scheiner & Willig (2011)

Tabela 6
O domínio e os princípios fundamentais da teoria da evolução

Domínio
Padrões, causas e consequências da mudança em características e diversidade da vida ao longo de gerações e eras geológicas.
Princípios
6.1. As características das linhagens de organismos mudam com o passar das gerações.
6.2. Mudanças em características pode levar à diversificação de linhagens.
6.3. Todos os organismos e suas linhagens são ligados por descendência comum
6.4. A variação entre os organismos individuais em seu genótipo e fenótipo é necessária para a mudança evolutiva.
6.5. As variações surgem das propriedades genéticas dos organismos.
6.6. A mudança evolutiva é causada por processos determinísticos e aleatórios, incluindo a seleção natural.
6.7. Os processos evolutivos dependem das propriedades dos organismos.
6.8. Tanto a heterogeneidade ambiental quanto dos processos evolutivos geram taxas variáveis de mudança evolutiva.

Fonte: Mindell & Scheiner, no prelo.