

O organismo no ensino médio de Biologia: Implicações para o currículo.

The organism in High School Biology: curriculum implications

Ítalo Nascimento de Carvalho

Secretaria de Educação do Estado da Bahia
italonc@hotmail.com

Nei de Freitas Nunes-Neto

Universidade Federal da Grande Dourados
nunesneto@gmail.com

Charbel Niño El-Hani

Universidade Federal da Bahia
charbel.elhani@gmail.com

Resumo

A abordagem atual no ensino sobre organismos sofre com um número excessivo de conceitos, o tratamento dos organismos como meras coleções de partes e a ênfase exclusiva na diversidade filogenética. Com a BNCC e o estímulo à abordagem interdisciplinar, há o risco de que áreas como zoologia, botânica e fisiologia passem a ser consideradas não como subdisciplinas de uma ciência autônoma (a Biologia), e sim meras fontes de exemplos para o ensino de teorias e princípios da Física e da Química. Este trabalho tem o objetivo de subsidiar a estruturação de currículos que, ao tratar de organismos, priorizem o ensino de um pequeno grupo de conceitos, permitam que os estudantes entendam o que todos os organismos têm em comum e o que faz deles sistemas coesos e integrados, apelando para ideias próprias da Biologia. Propomos ainda uma lista inicial de conceitos e quatro objetivos de aprendizagem para o ensino médio.

Palavras chave: currículo de biologia, teoria do organismo, organicismo, moldura conceitual da biologia, biologia funcional e evolutiva

Abstract

Current approaches to teaching about organisms suffer with an excessive amount of concepts, sees organisms as simple agglomerations of parts and overly emphasizes phylogenetic diversity. After the BNCC and its stimulus to an interdisciplinary approach, it is possible that areas as zoology, botany and physiology come to be seen not as sub-disciplines of an autonomous science (Biology itself), but only as sources for examples for the teaching of theories and principles from Physics and Chemistry. This paper aims to subsidize the

structuring of curricula that, when dealing with organisms, prioritize the teaching of a small number of concepts, allow students to understand what all organisms have in common and what makes them integrated wholes, appealing to ideas exclusive to Biology. We suggest an initial list of concepts and four learning objectives for High School Biology.

Key words: biology curriculum, theory of organism, organicism, conceptual framework of biology, functional end evolutionary biology

Introdução

O excesso de conteúdos no ensino médio de Biologia é um problema de longa data. Estima-se que (antes do novo Ensino Médio), o número de conceitos ensinados ao longo de três anos chegava a mais de 3 mil, com conceitos de subdisciplinas relacionadas prioritariamente ao organismo (como zoologia, botânica, microbiologia, micologia, embriologia, histologia, biologia de algas e fisiologia) somando 60,5% do total presente nos livros didáticos; para efeito de comparação a soma dos conceitos de sistemática e evolução (áreas dedicadas à biologia evolutiva), era de apenas 8,2% (AUTORES)

Reduzir o número de conceitos relativos aos organismos já traria benefícios para o ensino, mas há ainda outros problemas. A atual abordagem de ensino sobre biologia dos organismos é fragmentada e prioriza a separação entre as disciplinas biológicas (MEGLHIORATTI *et al.* 2009), tomando inclusive como base a noção comum de que a biologia é a ciência da diversidade. Essa noção estava presente de maneira explícita, por exemplo, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000) e na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na habilidade EM13CNT202 (BRASIL, 2020). Também são comuns abordagens metodologicamente reducionistas que focam na composição (anatomia) e no funcionamento (fisiologia) dos organismos, aplicando-se apenas métodos analíticos que visam entender as partes e suas relações para depois tentar compreender o todo. Não são raras até mesmo abordagens atomísticas, nas quais se estudam as partes isoladas, sem considerar suas relações. Ressaltamos ainda um outro tipo de reducionismo que traz problemas ao ensino de Biologia: o epistemológico. No que nos interessa, ele consiste em explicar fenômenos biológicos com base exclusivamente em teorias e princípios da Física e da Química. Uma vez que a BNCC estimula uma abordagem interdisciplinar (na qual as ciências naturais seriam ensinadas de maneira integrada) e a Física e a Química dispõem de teorias, leis e princípios amplamente reconhecidos como tais, corre-se o risco de que a Biologia não seja representada como uma ciência autônoma, mas em grande parte como uma mera fonte de estudos de caso que permitam ensinar Física e Química de forma contextualizada.

O problema da seleção de conceitos já foi abordado em AUTORES, com quatro critérios sendo sugeridos: 1 - priorizar o ensino de um pequeno número de conceitos estruturantes (GAGLIARDI, 1986), que permita aos estudantes entenderem um grande número de outros conceitos mais específicos; 2 - adotar uma moldura conceitual da Biologia (SCHEINER, 2010), que permita identificar os conceitos estruturantes; 3 - buscar um equilíbrio no número de conceitos da biologia funcional e da biologia evolutiva (MAYR, 1961; CAPONI, 2008, 2013); e 4 - buscar um equilíbrio nos conceitos relativos a componentes sistêmicos, processos e descritores. Observando a moldura conceitual proposta por Scheiner, encontramos a teoria geral do organismo, que tem como objeto de estudo a estrutura, função e variação dos indivíduos e suas causas, sendo detalhada em Zamer e Scheiner (2014). Esta teoria geral, então, poderia ser um ponto de partida para a seleção de conceitos para tratar dos organismos,



inclusive por abarcar ideias presentes em todas as subdisciplinas que já mencionamos. Porém, ela não é a única teoria do organismo disponível na literatura. Recentemente, o grupo interdisciplinar ORGANISM começou a combinar esforços com o intuito explícito de articular uma teoria do organismo com orientação organicista, promovendo avanços em relação aos movimentos da cibernética da autopoiese. Ao fazer isso, o grupo rompe com a visão que passou a dominar o pensamento biológico a partir da Síntese Evolutiva e que coloca o organismo como um produto passivo da genética, por um lado, e da evolução, pelo outro (NICHOLSON, 2014). A teoria do grupo ORGANISM enxerga o organismo como um agente de seus processos funcionais e evolutivos, sendo que as explicações para estes processos devem levar em conta fenômenos que acontecem no nível de descrição do próprio organismo.

O objetivo deste trabalho, então, é derivar contribuições de teorias do organismo para a construção de currículos de biologia para o ensino médio. Mais especificamente, buscaremos: 1 - identificar os principais conceitos que merecem destaque no ensino e na aprendizagem das subdisciplinas biológicas mais relacionadas aos organismos, de modo a possibilitar uma diminuição da quantidade de conceitos tratados em sala de aula e uma deflação da atenção dada à biologia funcional, facilitando um equilíbrio com o tratamento dado à biologia evolutiva; 2 - promover uma visão mais integrada das áreas da biologia que lidam prioritariamente com organismos, permitindo que os alunos compreendam o que unifica todos os organismos não apenas ao nível genético ou molecular, nem apenas enquanto produtos da evolução; 3 - favorecer uma abordagem que apresente aos alunos os organismos como entidades coesas, e não apenas como coleções de partes; e 4 - explicitar a continuidade entre os sistemas vivos e o mundo físico-químico, ao mesmo tempo em que se ressalta como esses sistemas não podem ser satisfatoriamente explicados apelando-se unicamente à física e à química, demandando recursos explicativos exclusivos da biologia.

A teoria geral do organismo segundo Zamer e Scheiner

Scheiner (2010) propõe uma moldura conceitual com o propósito de formular uma estrutura teórica explícita para a Biologia, esclarecendo seus componentes (teorias, princípios fundamentais, modelos, premissas, conceitos etc.) e como eles se relacionam entre si, levando em conta ideias dominantes no pensamento biológico atual. Ele estrutura a moldura conceitual de maneira hierárquica, conectando princípios gerais de ampla aplicação a modelos altamente específicos de forma a oferecer explicações causais para fenômenos dentro de domínios específicos. Na proposta de Scheiner, este aspecto hierárquico se expressa através de três níveis principais. O mais abrangente é o das teorias gerais, que proveem um arcabouço no qual componentes de níveis mais específicos se inserem, explicitando premissas (muitas vezes ocultas) que servem à construção destes componentes. O segundo nível é o das teorias constituintes (na verdade, um termo genérico que designa vários níveis de teorias menos abrangentes diretamente subordinadas a uma teoria geral ou até mesmo a outra teoria constituinte). Neste nível, se delineiam os contornos e se identificam os parâmetros de interesse no estudo de determinado fenômeno. Uma teoria constituinte orienta o desenvolvimento de modelos, além de unificar modelos relacionados entre si. Além disso, é neste nível que se dá a integração entre teorias gerais, uma vez que uma teoria constituinte pode tratar de um fenômeno pertencente ao domínio de uma certa teoria geral, mas levar em conta pressupostos sobre o domínio de outra teoria geral. Enfim, o nível mais específico é o dos modelos, que são constructos físicos ou abstratos que representam ou simplificam o

mundo natural, permitindo a realização de previsões e a construção do entendimento causal, colocando as teorias em contato com os dados empíricos.

Quadro 1: Princípios fundamentais da teoria da Biologia

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). Tradução nossa.

Quadro 2: Princípios fundamentais da teoria geral do organismo

2.1 Um organismo individual mantém ativamente sua integridade estrutural e funcional
2.2 Todos os organismos são compostos por células em algum ponto de seus ciclos de vida
2.3 A manutenção de um nível do organismo requer mudanças dinâmicas
2.4 Há conflitos (trade-offs) entre as funções orgânicas
2.5 A manutenção do organismo ocorre em função de interações com os ambientes biótico e abiótico
2.6 Organismos necessitam de fontes externas de matéria e energia para sua manutenção, crescimento e reprodução
2.7 Porque os organismos são mutáveis, influências externas podem forçar a mudança
2.8 A heterogeneidade de recursos no espaço e no tempo leva à variação nos padrões de história de vida
2.9 A reprodução dos organismos é tanto uma causa quanto uma consequência dos processos evolutivos
2.10 As propriedades dos organismos são resultado da evolução
2.11 A multicelularidade permite a especialização de células
2.12 Interações entre células são necessárias para a especialização celular”
2.13 A especialização de células requer sua localização espacial e temporal em algum ponto do ciclo de vida
2.14 A especialização de células permite a modularidade”
2.15 A especialização de células gera propriedades emergentes no organismo
2.16 O desenvolvimento requer heterogeneidade na composição celular ou orgânica

Fonte: Zamer e Scheiner (2014). Tradução nossa.

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. Para descrever a teoria da biologia, Scheiner propõe um conjunto de princípios fundamentais (quadro 1), que são 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 fundamentais. Posteriormente, Zamer e Scheiner (2014) detalham a teoria geral do organismo, ajustando seus princípios fundamentais (quadro 2), sendo que os princípios 11 a 16 se aplicam exclusivamente aos organismos multicelulares.

A partir dos princípios fundamentais, podemos identificar conceitos estruturantes necessários para entender as ideias mais básicas da Biologia e da biologia de organismos. No caso da teoria da biologia temos: sistema, equilíbrio termodinâmico, energia, persistência, célula, confinamento, informação, variação, complexidade, interação, emergência, contingência, mudança, descendência, fisicalidade e homeostase. Já no caso da teoria geral do organismo, temos alguns conceitos estruturantes já presentes na teoria da biologia, como persistência, mudança e interação, mas também novos conceitos: *trade-off*, perturbação, ciclo de vida, reprodução, herança, especialização celular, modularidade, desenvolvimento e função. Diversos destes conceitos já estão presentes no ensino de Biologia, embora vários deles não sejam tratados de forma explícita (como interação e mudança) e outros sejam subaproveitados (como ciclo de vida e especialização celular). Já conceitos como *trade-off*, modularidade e contingência raramente ou nunca são tratados no ensino médio. Uma discussão mais detalhada sobre esses conceitos extrapolaria o espaço disponível neste trabalho, mas considerações sobre os conceitos estruturantes da teoria da biologia podem ser encontradas em AUTORES e sobre os conceitos estruturantes da teoria geral do organismo em AUTORES (em preparação).

A teoria do organismo segundo o grupo ORGANISM

A teoria do organismo proposta pelo grupo ORGANISM busca compreender como os organismos exercem um papel de agência, capazes de criar e alterar as normas que regem seu próprio funcionamento, compatibilizando o surgimento de novidades e a estabilidade de características já presentes, sendo atualmente composta de três princípios básicos (SOTO et al., 2016a). Ela não se estrutura da mesma forma que a teoria de Scheiner, nem tenta organizar o conhecimento biológico já existente, mas busca avançar a pesquisa sobre organismos de forma imediata, tanto filosoficamente quanto teoricamente, dialogando com uma comunidade de pesquisa mais restrita. Assim, as ideias que baseiam os princípios básicos da teoria deste grupo são muito mais complexas e com forte imbricamento entre os princípios. Para nossos objetivos, isso coloca algumas dificuldades, como sua difícil compreensão, não só para professores em atividade (que nem sempre têm familiaridade com os temas da filosofia da biologia), mas também para formadores de políticas e outros atores do sistema educacional, e o desafio de adequar essas ideias para torná-las ensináveis no ensino médio, ou seja, sua transposição didática (CHEVALARD, 1989). Parte das dificuldades se deve ao fato dos três princípios não serem redutíveis uns aos outros: nenhum tem precedência lógica sobre o outro e não há um ponto de partida óbvio que facilite sua aprendizagem.

Essa teoria retorna às raízes do pensamento organicista, buscando superar limitações do reducionismo metodológico e foco na genética molecular que dominou a Biologia ao longo do século XX (SOTO et al., 2016a). Ela incorpora elementos como a relação entre parte e todo (segundo o qual o organismo é um todo com diferenciações estruturais e funcionais) e a relação entre interior e exterior (segundo o qual organismos são sistemas autônomos capazes



de manter a própria existência apesar das mudanças em seu ambiente). Nicholson (2014) esclarece estes dois pontos opondo organismos a máquinas: os componentes de uma máquina são produzidos independentes uns dos outros e previamente à existência da máquina, possuindo identidade própria (mesmo fora da máquina, funcionam e fazem o mesmo que farão quando colocados na máquina), enquanto as partes de um organismo produzem umas às outras já integrando o todo e só adquirem identidade enquanto partes do todo, sendo constantemente decompostas e substituídas; e organismos produzem barreiras físicas (como membranas celulares ou a pele) que regulam sua interação com o ambiente, permitindo aos organismos uma identidade definida internamente que lhes possibilita compensar perturbações externas e garantir a própria persistência devido ao fato de serem sistemas termodinamicamente abertos que se mantêm fora de equilíbrio ao trocar matéria e energia com o meio.

Outros aspectos centrais para a teoria do grupo ORGANISM são a caracterização dos sistemas biológicos pela coexistência de opostos (como mudança e estabilidade) e a separação incompleta não só entre o interno e o externo, mas também entre o antes e depois (trazendo noções como presente estendido, memória e antecipação). A teoria também leva em conta que as perturbações do meio externo fazem com que seja necessário observar os vários níveis hierárquicos que integram o sistema para que seja possível entendê-lo, não havendo um nível privilegiado de análise. Ela também dá destaque a propriedades distintivas dos sistemas vivos como agência (capacidade de iniciar ação), normatividade (capacidade de gerar as próprias regras) e individuação (habilidade de mudar a própria organização) (SOTO et al., 2016a). Outro aspecto relevante é a busca não só por destacar como organismos são redutíveis ontologicamente a componentes físicos e como ideias da física (como a termodinâmica) são relevantes para entendê-los, mas também deixar claro em que pontos esta continuidade se rompe à medida em que sistemas vivos exibem regimes de causação ausentes nos sistemas não vivos (o fechamento de restrições, como veremos adiante). A Física também é explorada em busca de perspectivas que possam ser aplicadas ou adaptas com sucesso ao estudo dos organismos, ainda que não se assuma que a Biologia deve ter como objetivo seguir todos os passos da outra ciência.

Os três princípios básicos que orientam a teoria do grupo ORGANISM seriam o passo inicial de um projeto de criar um arcabouço teórico que permita estudar os organismos levando em conta estes aspectos. O primeiro postula um estado padrão biológico da proliferação celular com variação e motilidade, reconhecendo a célula como unidade irreduzível de agência (SOTO et al., 2016a). O “estado padrão” designa o estado das coisas quando nenhuma ação é tomada, sendo útil para uma teoria por permitir delimitar o que precisa ser explicado (casos que diferem do estado padrão) e o que não precisa. Soto e colaboradores (2016b) sistematizam o princípio, argumentado que o estado padrão das células surge a partir das características que a primeira célula teria: de vida livre e de movimentação irrestrita, ela se dividiria sempre que o ambiente fornecesse condições e recursos apropriados, gerando variações a cada divisão. Este estado padrão seria então herdado por todas as células posteriores, inclusive as pertencentes aos dos seres multicelulares, não necessitando de explicação por parte da teoria. A ausência de qualquer uma destas características é o que deve ser explicado (ex.: o que restringe a divisão das células em organismos multicelulares). Já a variação surge de diversas formas, sendo que a cada divisão celular, duas células filha não são exatamente iguais, Quanto à motilidade, ela envolve não só locomoção, mas também movimentos não aleatórios intracelulares, celulares, tissulares e ao nível de organismo.

O segundo princípio básico é o da organização enquanto fechamento de restrições (MOSSIO



et al., 2016) e é ele que captura alguns aspectos já mencionados como centrais na teoria de organismos: como as partes do sistema se diferenciam funcionalmente ao mesmo tempo em que se integram e coordenam como um todo e como se dão as relações de dependência mútua, de modo que a existência e a atividade de cada parte depende de sua relação com as outras. Para entender este princípio devemos começar entendendo que em todo organismo há uma miríade de processos: todos os tipos de atividades (incluindo reações químicas) que envolvem algum tipo de transformação, como alteração, produção, consumo e/ou constituição de entidades e componentes. A utilização de energia é essencial para que os processos ocorram, o que torna necessário que o organismo seja termodinamicamente aberto: uma vez que eles ocorrem continuamente, a entrada de energia (assim como de matéria) também deve ser contínua. Já as restrições são entidades que agem sobre estes processos, canalizando o fluxo de energia e reduzindo seus graus de liberdade, determinando o comportamento do sistema. Porém, ainda que uma entidade influencie uma transformação, ela mesma não é transformada em função da própria atividade, demonstrando uma simetria em relação ao processo que ela restringe na escala de tempo do processo restringido. Em escalas temporais maiores ou menores, porém, a entidade está sujeita ao fluxo termodinâmico, se deteriorando e dependendo de uma segunda entidade que age sobre ela como uma restrição, restaurando-a ou repondo-a. Neste caso, dizemos que a primeira restrição é dependente da segunda e que a segunda é possibilitadora da primeira. A segunda restrição, então, é dependente de uma terceira. Caso essa terceira restrição seja não só possibilitadora da segunda, mas também dependente da primeira, dizemos que há um fechamento de restrições (que, obviamente, pode ter mais restrições que em nosso exemplo) e é a este fechamento que chamamos de organização. O fechamento de restrições é um regime causal exclusivo dos organismos (e, talvez, de alguns sistemas ecológicos) cujo menor exemplar é a célula, mas que para ser corretamente descrito deve considerar todos os níveis de descrição do organismo, não havendo um nível privilegiado a partir do qual se pode explicar os seres vivos.

A partir deste princípio, temos uma definição biológica de função, que passa a ser entendida como o papel causal que uma parte ou estrutura exerce enquanto restrição sujeita a um fechamento organizacional e que contribui para a manutenção da organização (MORENO & MOSSIO, 2015). Também temos, por implicação, que o fechamento é um aspecto do organismo que se conserva ao longo de sua vida. Ainda que ele mude, essas mudanças devem gerar uma rede de dependências que preservem o fechamento, sob risco da morte do indivíduo. As mudanças podem ser revertidas, como variações em certos processos que são retornados a seu estado ideal pelas restrições que agem sobre eles. Mas também há mudanças irreversíveis na forma de perda ou ganho de restrições. Aqui, devemos introduzir uma nova distinção: o fechamento que descrevemos acima se refere apenas às restrições que realizam a manutenção básica da organização e por isso são chamadas de restrições constitutivas. Há um segundo conjunto de restrições que são dependentes do regime constitutivo mas que não atuam na manutenção básica do sistema, entrando em ação apenas quando o sistema sofre certas perturbações: as restrições regulatórias. Essas restrições modulam ou até mesmo modificam as restrições constitutivas, fazendo com que a atividade do sistema restaure as próprias condições de existência e, portanto, possibilitando a continuidade da organização em um conjunto maior de situações (MORENO & MOSSIO, 2015). Assim, a regulação permite que um organismo não só estabeleça internamente as normas de seu próprio funcionamento, mas também as modifique quando necessário.

Enquanto o princípio da organização lida principalmente com a manutenção da estabilidade da organização e conservação de traços que contribuam para a estabilidade, o terceiro princípio da teoria do organismo lida com a variação e com o surgimento de mudanças



funcionais na organização (MOSSIO *et al.*, 2016). Este princípio visa fornecer uma abordagem teórica unificada das mudanças pelas quais os organismos passam tanto em sua ontogenia quanto em sua filogenia, evitando que o estudo das variações se torne um simples catálogo de exceções e embasando a compreensão da historicidade dos sistemas biológicos (MONTÉVIL *et al.*, 2016). O princípio se inspira nas ferramentas matemáticas utilizadas pela Física e no conceito de simetria teórica. Uma simetria se refere aos parâmetros utilizados para fazer a descrição matemática de um sistema e à mudança ou não desses parâmetros quando o sistema passa por uma transformação. Para o princípio da variação, o que importa são as mudanças na organização que quebram simetrias, como inclusão ou exclusão de restrições, sendo que essas variações podem acontecer em todas as escalas de tempo e em todos os níveis hierárquicos (MONTÉVIL *et al.*, 2016).

Uma característica crucial dos sistemas biológicos é a contínua mudança de simetrias, tanto do tempo ontogenético (ao longo do desenvolvimento e em resposta a perturbações ambientais) quanto no tempo filogenético. É por este motivo que os organismos devem ser considerados como objetos específicos: cada novo indivíduo pode passar por transformações qualitativas aleatórias (no sentido de não serem previsíveis pela teoria) que modificam suas simetrias e, se mantidas, podem se acumular ao longo das gerações, originando histórias únicas para cada linhagem. Uma vez que as possibilidades de mudanças de simetria nos organismos não são determinadas *a priori* pela sua organização, só podemos conhecê-las após sua ocorrência, ao reconstruir a história tanto de indivíduos quanto de linhagens (MONTÉVIL *et al.*, 2016).

O contexto é relevante para entendermos a organização, uma vez que as simetrias dos organismos dependem de seu ambiente (tanto do atual, quanto de ambientes passados, considerando a história da linhagem). Ao ser exposto a um novo ambiente, um organismo pode passar por reorganizações imprevisíveis por conta das interações entre restrições internas entre si e com o ambiente. Estas reorganizações podem ser internalizadas e mantidas em diversas escalas de tempo, desde a ontogenia (como no caso da plasticidade fenotípica), passando por gerações (como no caso da epigenética) e chegando à escala evolutiva (como no entendimento tradicional das adaptações). A relação entre inovações trazidas por variações e a estabilidade proporcionada pela dependência mútua entre restrições deve ser vista, então, como um acúmulo de variações, e não como uma simples conservação de uma configuração já estável (MONTÉVIL *et al.*, 2016).

Entre os conceitos estruturantes da teoria do grupo ORGANISM, podemos citar: organização, restrição, processo, simetria, perturbação regulação, agência e proliferação com variação.

Como pensar um currículo sobre organismos

A atribuição de um papel central do organismo para a Biologia não é exclusiva do grupo ORGANISM. O próprio Scheiner (2010) ressalta que das cinco teorias gerais da biologia, apenas a teoria geral da célula não tem o organismo em seu escopo. Já MacMahon e colaboradores (1978) propõem uma modelagem de níveis hierárquicos dos sistemas biológicos centrada nos organismos, que são o ponto de encontro entre quatro tipos de relações: fisiológico-anatômica, filogenética, coevolutiva e troca de matéria e energia.

Admitindo o papel central do organismo no pensamento biológico, é possível perceber como o ele poderia ter implicações para todo o currículo de biologia em todos os níveis de ensino, oferecendo um eixo integrador em torno do qual o currículo pode se estruturar. Porém, como

argumentado em AUTORES, a natureza dual da biologia deve ser considerada e a biologia evolutiva também deve ser levada em conta na estruturação do currículo. Assim, a recomendação já presente em vários documentos curriculares do ensino médio de que a teoria evolutiva deve constituir um eixo integrador do currículo deve ser complementada pela adoção da teoria do organismo como integradora, mas como foco na biologia funcional.

Submetemos, então, que, ao tratar dos organismos no ensino médio, haveria pelo menos quatro objetivos de aprendizagem (OA) principais, descritos abaixo em termos do que os estudantes devem ser capazes de fazer ao fim deste nível de educação. Ainda que tenhamos redigido os objetivos em torno do verbo “compreender”, isso não significa que priorizemos apenas este tipo de operação cognitiva, usando como base a taxonomia de objetivos educacionais de Bloom revisada (KRATHWOHL, 2002). Para cada objetivo, listamos quais os conceitos das teorias de Scheiner e do grupo ORGANISM que podem ter maior impacto para o ensino e aprendizagem sobre organismos no ensino médio.

Quadro 3: Objetivos de aprendizagem baseados nas teorias de organismo e seus conceitos estruturantes.

<p>OA1. Compreender que os organismos não são feitos de nada além de entidades físicas, mas sua organização é o que os diferencia da matéria sem vida, envolvendo a interação entre diferentes níveis hierárquicos.</p> <p>Conceitos estruturantes: organização, restrição, processo, energia, equilíbrio termodinâmico, interação, complexidade, emergência, mudança, entidades físicas, fechamento, simetria.</p>
<p>OA2. Compreender como organismos vêm a existir e se constituir desde seu nascimento, e, quando for o caso, ao longo de seu desenvolvimento, criando e modificando ativamente as regras que regem seu próprio funcionamento.</p> <p>Conceitos estruturantes: organização, restrição, reprodução, descendência, herança, célula, mudança, regulação, agência, <i>trade-off</i>, ciclo de vida, desenvolvimento, variação, especialização celular, interação celular.</p>
<p>OA3. Compreender como organismos mantêm ativamente sua integridade estrutural e funcional, fabricando seus próprios componentes e moldando suas condições internas frente a influências externas, com as diversas atividades fisiológicas sempre se articulando entre si e contribuindo para a manutenção do todo, levando a <i>trade-offs</i> que se compatibilizam ao longo de seu ciclo de vida.</p> <p>Conceitos estruturantes: persistência, equilíbrio dinâmico, energia, mudança, organização, restrição, interação, interação celular, proliferação com variação, especialização celular, modularidade, propriedade emergente, complexidade, homeostase, <i>trade-off</i>, ciclo de vida, desenvolvimento, contingência, perturbação.</p>
<p>OA4. Compreender de que maneiras é possível comparar as diversas soluções evolutivas apresentadas por diferentes grupos de seres vivos para os mesmos problemas e como diferentes combinações de características (diferentes organizações) criam contextos que levam a diferentes possibilidades de mudanças e a diferentes novos desafios (variações).</p> <p>Conceitos estruturantes: persistência, linhagem, organização, variação, mudança, restrição, interação, contingência, descendência, ciclo de vida, reprodução, modularidade, desenvolvimento, evolução</p>

Fonte: Elaborado pelos autores

Nenhum dos objetivos propostos acima tem precedência sobre outros, nem é possível prescrever alguma ordem preferencial entre eles. Tampouco o ensino deve ser pensado na forma de unidades em que cada objetivo é tratado de forma isolada. Esses objetivos sintetizam o resultado final de um processo de aprendizagem sobre organismos e os meios para atingi-lo envolvem conteúdos (e conceitos) mais específicos cuja sequência ainda deve ser pensada. A título de exemplo, podemos pensar em como ensinar sobre os sistemas digestório, respiratório e circulatório seguindo os objetivos de aprendizagem delineados acima e em torno de um modelo integrado dos sistemas (em negrito estão operações cognitivas de acordo com a taxonomia de Bloom reformulada): os estudantes podem **analisá-**



los diferenciando as partes que os compõem e atribuindo a cada uma delas sua função na organização das quais fazem parte. O modelo incluiria uma descrição não só a nível de órgãos, mas também de tecidos e células, dando condições para os estudantes **entenderem** como os diferentes níveis hierárquicos contribuem para a manutenção da organização, comparando as restrições exercidas por cada componente. Em certo ponto, os estudantes seriam capazes de **avaliar** a ideia de que todos os sistemas interagem entre si, verificando se as funções exercidas por cada um deles realizam um fechamento de restrições entre si. Além disso, é possível **entender** as possibilidades e limitações das condições de vida de diversos grupos animais em relação a seus habitats comparando seus sistemas de órgãos e inferindo como eles impactam suas relações com o ambiente externo. Este exemplo obviamente não é exaustivo, mas mostra como é possível trabalhar aspectos dos OA1, OA3 e OA4.

Uma estratégia possivelmente útil ao ensino sobre organismos é a comparação entre eles e as máquinas, ressaltando suas semelhanças e diferenças. Nicholson (2013) lista diversas dessas características, complementando as diferenças que mencionamos na seção anterior. Por questões de espaço, não as exploraremos neste trabalho, mas os interessados podem consultar o original. Aqui, queremos ressaltar que pensar principalmente sobre as diferenças seria um primeiro passo que facilitaria a percepção das categorias que definem as características dos organismos (propósito, função, relação parte/todo etc.). Inserir esta reflexão no início de um curso sobre organismos seria útil para que os estudantes percebessem o que precisa ser explicado, sendo que as explicações seriam encontradas ao tratar do temas e conceitos listados nos OAs anteriormente.

Entre as dificuldades para compreender essas explicações podemos citar o caráter imbricado dos organismos, em que cada nível hierárquico interfere nos níveis abaixo e acima; e o fato de haver pouca ou nenhuma precedência de um conceito estruturante ou princípio fundamental da teoria da biologia sobre outro. Isso faz com que, a nosso ver, seja impraticável criar uma estratégia de ensino linear, em que cada conceito é abordado isoladamente, com todas as suas conexões com outros conceitos sendo apresentadas em seguida. Para que estas conexões sejam estabelecidas, seria necessário o conhecimento prévio de todos os conceitos. Uma estratégia em espiral comprimida (GIBBS, 2014) seria mais adequada, permitindo que os estudantes revisitem cada conceito em níveis de profundidade e complexidades crescentes, estabelecer novas conexões a cada novo contato.

Considerações finais

A lista de conceitos estruturantes da biologia de organismos e os OAs apresentados neste trabalho não devem ser encarados como definitivos e prontamente aplicáveis à construção de currículos ou diretamente utilizáveis em sala de aula. Entre os pontos a serem melhor explorados futuramente estão as divergências e contradições entre a teoria geral do organismo de Zamer e Scheiner e a teoria do grupo ORGANISM (algumas delas são mencionadas em Autores [em preparação]). Nosso objetivo é encorajar debates sobre o tema, coletando críticas e sugestões tanto da comunidade de pesquisa em ensino de biologia, quanto dos professores em atividade, e, com o desenvolvimento de nossas ideias, submetê-las a testes empíricos.

Entretanto, isso não quer dizer que nossa proposta não possa inspirar mudanças a curto prazo. Petersen e colaboradores (2020) sugerem que, em cursos de ensino superior, o currículo deve ser pensado de trás para frente, de forma que o professor tenha em mente que ideias e habilidades o estudante deverá saber ao fim do curso para então encontrar os conceitos centrais que deverão ser aprendidos e, depois, os meios para promover o aprendizado. Assim,

os conteúdos mais específicos seriam trabalhados à luz dos conceitos centrais mais gerais de forma explícita, inclusive mostrando-se aos alunos a estrutura do conhecimento que eles devem entender ao fim do curso, seja na forma de gráficos ou de organizadores semânticos. Professores do ensino médio que julgarem possível tratar de um ou mais conceitos estruturantes por nós listados podem utilizar uma estratégia semelhante: observar entre os temas já ensinados quais poderiam ter maiores contribuições para o aprendizado dos conceitos estruturantes da teoria do organismo e dar mais destaque a eles. Dessa forma, se compatibiliza uma abordagem de cima para baixo (que tentamos seguir em nossa proposta) com uma abordagem de baixo para cima. Ainda que não consideremos essa estratégia como a ideal, acreditamos que ela já pode trazer benefícios para o ensino sobre organismos, como tornar mais claro que conceitos mais específicos atualmente tratados em livros didáticos e em sala de aula podem ser deixados de lado ou receber menos atenção.

Referências

AUTORES

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

_____. **Base nacional comum curricular** (versão final). Ministério da Educação, 2020.

Caponi, G. 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.

CHEVALLARD, Y. On didactic transposition theory: some introductory notes. In: **Proceedings of the International Symposium on Selected Domains of Research and Development in Mathematics Education**. Bratislava, 1989. p. 51-62. Disponível em <http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=122> Acessado em 16 de junho de 2019.

GAGLIARDI, R. Los Conceptos Estructurales en el Aprendizaje por Investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986.

GIBBS, B. C. Reconfiguring Bruner: Compressing the Spiral Curriculum. **Phi Delta Kappan**, v. 95, n. 7, p. 41-44, 2014.

KRATHWOHL, D. R. A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. **Theory Into Practice**, v. 41, n. 4, p. 212-218, 2002.

MACMACHON, J. A.; PHILLIPS, D. L.; ROBISONSON, J. V.; SCHIMPF, D. J. Levels of biological organization: an organism-centered approach. *Biosciences* 28 (11): 700-704, 1978

MAYR, E. Cause and effect in biology. **Science**, v. 134, p. 1501-1506, 1961

MEGLHIORATTI, F. A.; BRANDO, F. R.; ANDRADE, M. A. B. S.; CALDEIRA, A. M. A. A integração conceitual no Ensino de Biologia: uma proposta hierárquica de organização do conhecimento biológico. In: CALDEIRA, A. M. A.; ARAUJO, E. S. N. N. (orgs). **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras, 2009. p. 189-205.



MONTÉVIL, M.; MOSSIO, M.; POCHEVILLE, A.; LONGO, G. Theoretical principles for biology: Variation. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 122, n. 1, p. 36-50, 2016.

MORENO, A.; MOSSIO, M. **Biological Autonomy**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015.

MOSSIO, M.; MONTÉVIL, M.; LONGO, G. Theoretical principles for biology: Organization. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 122, n. 1, p. 24-35, 2016.

NICHOLSON, D. J. Organisms \neq Machines. **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 44, n. 4, p. 669–678, 2013.

_____. The return of the organism as a fundamental explanatory concept in biology. **Philosophy Compass**, v. 9, n. 5, p. 347-359, 2014.

PETERSEN, C. I.; BAEPLER, P.; BEITZ, A.; CHING, P.; GORMAN, K. S.; NEUDAUER, C. L.; ROZAITIS, W.; WALKER, J. D.; WINGERT, D. The Tyranny of Content: “Content Coverage” as a Barrier to Evidence-Based Teaching Approaches and Ways to Overcome It. **CBE—Life Sciences Education**, v. 19, n. 2, p. ar17, 2020.

SCHEINER, S. M. Toward a Conceptual Framework for Biology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 85, n. 3, p. 293-318, 2010.

SOTO, A. M.; LONGO, G.; MIQUEL, P.; MONTÉVIL, M.; MOSSIO, M.; POCHEVILLE, A.; SONNENSCHN, C. Toward a theory of organisms: Three founding principles in search of a useful integration. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 122, n. 1, p. 77-82, 2016a.

SOTO, A. M.; LONGO, G.; MONTÉVIL, M.; SONNENSCHN, C. The biological default state of cell proliferation with variation and motility, a fundamental principle for a theory of organisms. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 122, n. 1, p. 16-23, 2016b.

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.