

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E  
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS  
ÍTALO NASCIMENTO DE CARVALHO

CONTRIBUIÇÕES DAS TEORIAS DO ORGANISMO PARA O  
CURRÍCULO DE BIOLOGIA DO ENSINO MÉDIO

SALVADOR

2022

ÍTALO NASCIMENTO DE CARVALHO

CONTRIBUIÇÕES DAS TEORIAS DO ORGANISMO PARA O  
CURRÍCULO DE BIOLOGIA DO ENSINO MÉDIO

Tese para a obtenção do título de doutor em ensino, filosofia e história das ciências apresentada à Universidade Federal da Bahia (UFBA) e à Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

Orientador: Nei de Freitas Nunes Neto  
Coorientador: Charbel Niño El-Hani

SALVADOR

2022

Carvalho, Ítalo Nascimento de.

Contribuições das teorias do organismo para o currículo de biologia do ensino médio / Ítalo Nascimento de Carvalho. - 2022.

135 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nei de Freitas Nunes Neto.

Coorientador: Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, 2022.

Programa de Pós-Graduação em convênio com a Universidade Estadual de Feira de Santana.

1. Biologia (Ensino médio) - Estudo e ensino. 2. Educação. 3. Currículos. 4. Organismo. I. Nunes Neto, Nei de Freitas. II. El-Hani, Charbel Niño. III. Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. IV. Universidade Estadual de Feira de Santana. V. Título.

CDD 373.011 - 23. ed.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E  
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS

Faculdade de Educação – FACED  
Avenida Reitor Miguel Calmon, s/n, Campus Canela, 40110-100, Salvador –  
Bahia – Brasil  
Fone: (71) 3283-7262/7264 | E-mail: [ppgefhc@ufba.br](mailto:ppgefhc@ufba.br)

**PARECER**

O trabalho apresentado tem boa articulação com a literatura da filosofia da biologia e biologia teórica, sendo interdisciplinar por conectar áreas do ensino, da filosofia e da história das ciências, trazendo importantes contribuições para a área. A banca sugere que sejam consideradas as sugestões e recomendações discutidas durante a defesa, sobretudo contemplando maior articulação com a literatura em educação e discutindo com maior ênfase perspectivas para a formação de professores.

**CONCLUSÃO**

- APROVADO (Art. 98, parágrafo 1º, do REGPG/UFBA)**
- FAZER REFORMULAÇÃO (Art. 99 do REGPG/UFBA)**
- REPROVADO (Art. 98, parágrafo 2º, do REGPG/UFBA)**

<p><b>LOCAL</b> Sala Plataforma RNP webconferência</p> <p><a href="https://conferencia.web.mp.br/events/defesa-de-doutorado-de-italo-nascimento-de-carvalho">https://conferencia.web.mp.br/events/defesa-de-doutorado-de-italo-nascimento-de-carvalho</a></p>	<p><b>DATA</b> 27/10/2022</p>	<p><b>ASSINATURA DA BANCA EXAMINADORA</b></p> <p><i>Nei de Freitas Nunes Neto</i> Dr. <b>Nei de Freitas Nunes Neto</b> (Orientador – UFGD)</p> <p><i>Charbel Niño El-Hani</i> Dr. <b>Charbel Niño El-Hani</b> (Coorientador – UFBA)</p> <p><i>Gustavo R. Rocha</i> Dr. <b>Gustavo Rodrigues Rocha</b> (1º Examinador Interno – UEFS)</p> <p><i>Claudio Reis</i> Dr. <b>Claudio Reis</b> (1º Examinador Externo – UFBA)</p> <p><i>Daniela L. Scarpa</i> Dr.ª <b>Daniela Lopes Scarpa</b> (2ª Examinadora Externa – USP)</p> <p><i>Dália Melissa Conrado</i> Dr.ª <b>Dália Melissa Conrado</b> (3ª Examinadora Externa – UFGD)</p>
---	-----------------------------------	--

## RESUMO

A presente tese tem por objetivo derivar implicações das teorias do organismo para o currículo de Biologia do ensino médio. Sua estrutura contém dois capítulos, que podem ser apreciados como artigos distintos. O primeiro capítulo é intitulado “Como tratar do organismo no ensino médio de biologia: implicações para o currículo” e se insere num esforço mais amplo de estabelecer critérios para seleção de conteúdos conceituais para o currículo de Biologia. Nele, mostramos como os currículos atuais tratam os organismos de forma fragmentada, na medida em que enfatiza as diferenças entre os grupos filogenéticos e expõe um número excessivo de conceitos específicos. Argumentamos que, se queremos um ensino interdisciplinar e não reducionista de Biologia – que não a reduza à Química e à Física e que permita uma compreensão integrada dos organismos e do que todos eles têm em comum –, encontraremos nas teorias do organismo recursos úteis para reformular os currículos. Analisamos, então, a teoria geral do organismo proposta por Zamer e Scheiner e a teoria do grupo ORGANISM, identificando os conceitos estruturantes destas teorias, e propomos com base neles quatro tópicos que podem servir de base para estruturar parcialmente o currículo de Biologia em torno do conceito de organismo. O segundo capítulo, intitulado “A Teoria Organizacional da Autonomia e a descontinuidade conceitual entre sistemas e linhagens: uma primeira aproximação” é uma contribuição original à Teoria Organizacional da Autonomia (integrante do esforço do grupo ORGANISM) no âmbito da filosofia da biologia. Analisamos aspectos da teoria através da descontinuidade conceitual entre a Biologia de sistemas e a Biologia de linhagens apontada por Caponi. Mostramos como a descontinuidade traz problemas à concepção de variação adotada pela teoria e como o tratamento unificado das funções intra- e intergeracionais coloca em questão o status ontológico da organização como regime causal não redutível às partes de um sistema. Sendo um trabalho de filosofia da Biologia, a contribuição para o ensino se dá de maneira indireta ao contribuir para tornar a Teoria da Autonomia mais

robusta, além de esclarecer alguns de seus fundamentos, o que contribui para que ela seja didaticamente transposta.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is deriving implications from theories of organism to high school Biology curriculum. It is a multipaper work composed by two papers. The first one, whose title is “How to treat the organism in high school Biology: implications for curriculum”, is part of a bigger effort to establish criteria for selection of conceptual contents for Biology curriculum. In this paper, we show how current curricula give organisms a fragmentary approach, emphasizing the differences among phylogenetic groups and listing a big number of very specific concepts. We argue that, if we want an interdisciplinary Biology teaching that does not reduce it to Chemistry and Physics and allows students to understand organisms as integrated wholes, as well as what they all have in common, we should tap into the theories of organisms for resources to reformulate curricula. We then analyse the general theory of organism proposed by Zamer and Scheiner and the theory proposed by the ORGANISM group, identifying the structuring concepts of the theories. Based on them, we propose four topics that can be the foundation for a partial organization of Biology curriculum around the concept of organism. The second paper, titled “The Theory of Autonomy and the conceptual discontinuity between systems and lineages: a first approach”, is an original contribution to the Organizational Theory of Autonomy (part of the effort of the ORGANISM group) in the context of philosophy of Biology. We analyzed some aspects of the theory in light of the conceptual discontinuity between system Biology and lineage Biology set by Caponi. We show how the discontinuity poses problems to the concept of variation adopted by the theory and how the unified treatment of cross- and intra-generation functions means considering functions (and, in extension, constraints) as classes. In this second matter, the ontological status of organization as a causal regimen non-reducible to the parts of the system would be questioned. Being this paper a work in philosophy of Biology, its contribution to Biology teaching is collateral by contributing to turn the Theory of Autonomy more robust and by making some of its foundations and concepts more clear, what contributes to its didactic transposition.

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	8
COMO TRATAR DO ORGANISMO NO ENSINO MÉDIO DE BIOLOGIA: IMPLICAÇÕES PARA O CURRÍCULO .....	14
Introdução .....	14
O organismo como um eixo do currículo de biologia .....	24
A estrutura teórica da biologia e a teoria do organismo segundo Scheiner .....	34
A teoria do organismo segundo o grupo ORGANISM .....	54
Como começar a pensar um currículo sobre organismos .....	72
Considerações finais .....	91
Referências .....	96
A TEORIA ORGANIZACIONAL DA AUTONOMIA E A DESCONTINUIDADE CONCEITUAL ENTRE SISTEMAS E LINHAGENS: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO .....	107
Introdução .....	107
A dualidade biologia funcional / biologia evolutiva e a descontinuidade conceitual entre sistemas e linhagens .....	110
A Teoria Organizacional da Autonomia e o papel atribuído à variação .....	115
Função intergeracional e o status ontológico da organização .....	120
Considerações finais .....	130
Referências .....	131
CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE .....	134



## APRESENTAÇÃO

A presente tese está inserida em uma trajetória de formação acadêmica que teve início em minha graduação, com a elaboração do meu trabalho de conclusão de curso em 2010. Por mais que o problema do excesso de conteúdos nos currículos do ensino médio de biologia seja conhecido de longa data entre professores, formadores de políticas educacionais e pesquisadores acadêmicos, a lista de trabalhos publicados que se propuseram a buscar soluções para este problema não é tão extensa quanto o assunto merece. Além disso, os que buscaram soluções geralmente estabeleceram um foco reduzido, tratando de subdisciplinas da biologia (como a zoologia e a botânica). Obviamente, não é simples a tarefa de tratar de critérios para selecionar o que é importante ensinar em uma ciência tão diversa quanto a biologia.

Faz sentido, então, que o projeto tenha se estendido ao longo do meu mestrado e doutorado. E é de se esperar que ainda não esteja acabado. O critérios delineados no TCC foram expandidos e aprimorados na dissertação. Em resumo, eles são: priorizar o ensino de uma pequena quantidade de conceitos que, uma vez apreendidos, permitam aos estudantes aprender uma quantidade maior de outros conceitos; adotar uma moldura teórica da biologia que permita identificar esses conceitos estruturantes; priorizar um equilíbrio entre o número de conceitos da biologia funcional e da biologia evolutiva; e reduzir o foco nos componentes dos sistemas biológicos, para focar principalmente nos processos e em conceitos que descrevem padrões e propriedades centrais para a formação de um pensamento biológico.

Agora, na tese, esses critérios são o fundamento sobre o qual é construída uma proposta mais direcionada e específica, mas nem por isso menos ambiciosa: organizar o ensino sobre organismos em torno de um pequeno número de conceitos com base não só em teorias do organismo, mas num programa filosófico organicista, que pode ser considerado uma contra-cultura na biologia atual.

No primeiro capítulo, intitulado “Contribuições das teorias do organismo para o currículo de biologia” damos o primeiro passo com essa proposta. O artigo, obviamente, é voltado para a área do ensino de biologia. Nele, eu relato diversos problemas na abordagem atualmente comum no ensino sobre organismos no Ensino Médio: uma grande quantidade de conceitos específicos; um tratamento que ressalta as diferenças em vez das semelhanças entre os grupos filogenéticos; e uma visão reducionista e muitas vezes atomística, que descreve as partes isoladas em vez de considerar o funcionamento integrado dos corpos dos organismos. Também comento como um ensino interdisciplinar, como o defendido pela Base Nacional Comum Curricular, pode incorrer numa abordagem da biologia que mascara sua autonomia enquanto ciência e a reduz a uma fonte de exemplos para os princípios teóricos da física e da química.

Argumento, então, que um ensino informado por uma teoria do organismo e por um programa organicista pode ajudar a remediar ou evitar esses problemas. Traço então um breve histórico que mostra como a biologia do século XX deu margem a esse tipo de abordagem e como os limites do chamado organicismo *mainstream* (postura dominante na biologia, segundo Claus Emmeche e Charbel El-Hani) se tornaram cada vez mais evidentes a partir da segunda metade desse mesmo século. Neste cenário, surgem novas visões organicistas, como a do grupo ORGANISM, que recusam a visão prevalente de que o organismo é meramente o produto dos genes, por um lado, e paciente de processos evolutivos (como a seleção natural) pelo outro.

Como na proposta de critérios para a seleção de conteúdos iniciada em trabalhos anteriores já constava uma moldura teórica da biologia proposta por Samuel Scheiner que inclui uma teoria do organismo, ela não podia ser ignorada. Ainda que ela não tenha uma intenção declarada de romper com o organicismo *mainstream*, ela explicita diversas premissas tácitas do pensamento biológico atual sobre os organismos com as quais outras visões organicistas buscam romper. Essa teoria é, então, descrita no artigo ao mesmo tempo em que são ressaltados os principais conceitos que dela podem ser extraídos. Também comento se e como

eles são tratados no ensino atual e como poderiam ser tratados para que suas implicações para o pensamento biológico possam ser melhor exploradas.

Em seguida, trato da proposta do grupo ORGANISM, explicitando algumas de suas premissas, além dos três princípios básicos que constituem sua teoria. Como muitos dos principais conceitos desta teoria não são comuns ao pensamento biológico dominante ou até mesmo foram criados no âmbito da própria teoria, eles não estão presentes no ensino médio. Assim, comentários sobre a aplicação deles no ensino foram deixados para a seção seguinte do texto, na qual exemplifico como um currículo de biologia poderia ser planejado no âmbito das teorias do organismo, considerando o conceito de organismo como central para a biologia funcional.

São delineados quatro tópicos que mostram como os conceitos estruturantes podem ser articulados entre si para embasar o ensino sobre o organismo, com um exemplo de como eles podem ser trabalhados em um currículo através de uma estratégia de ensino de espiral comprimida, em que os mesmos conceitos são retomados em vários momentos ao longo do ano letivo. Em cada momento, novas conexões são estabelecidas ao mesmo tempo em que novos conceitos são introduzidos.

Sendo um trabalho que busca derivar implicações da filosofia da biologia e da biologia teórica (dois campos com grandes sobreposições) para o ensino de biologia, é inevitável fazer uma análise mais aprofundada sobre os fundamentos do pensamento biológico. E, como em todas as ciências, é perceptível que esses fundamentos não são monolíticos: há diversos posicionamentos possíveis sobre os mais diversos tópicos. Como no meu TCC e na minha dissertação, nesta tese foram articulados pensamentos de diversos autores e autoras de formas ainda pouco exploradas na literatura. Embora frutífero, é de se esperar que este tipo de empreendimento revele divergências e incongruências e foi justamente isso que levou ao segundo artigo aqui presente.

A ideia para esse artigo tem suas raízes no objetivo de estabelecer, nos currículos, um equilíbrio entre os conceitos da biologia evolutiva e da biologia funcional. Essa distinção se baseia na discussão sobre diferentes causas na biologia

(funcionais e evolutivas) popularizada por Ernst Mayr em meados dos século XX, no contexto da Síntese Evolutiva, e questionada no início do século XXI, no contexto da Síntese Evolutiva Estendida, tendo entre seus principais críticos Kevin Laland e colaboradores. Como resposta às críticas de Laland, Gustavo Caponi ressalta que o que diferencia as duas causas são seus efeitos: efeitos nas linhagens, quando tratam-se de causas evolutivas, e efeitos no funcionamento dos sistemas biológicos, quando tratam-se de causas funcionais. Nessa versão reformulada, não há uma dicotomia entre duas classes de fenômenos, cada uma entendida como um tipo de causa. A depender do contexto, um fenômeno pode ser entendido como causa puramente próxima ou também como causa evolutiva. Caponi vai além e afirma que há uma descontinuidade conceitual na biologia que não nos permite pensar em sistemas e linhagens da mesma forma, havendo ideias aplicáveis aos primeiros e não às últimas e vice-versa. Entretanto, ele deixa claro que não está propondo dessa descontinuidade, apenas trazendo à tona pressupostos do pensamento biológico dominante.

Uma das ideias que é aplicável apenas a linhagens é o conceito de variação. Um dos princípios básicos da abordagem do grupo ORGANISM trata exatamente deste conceito. Porém, nessa abordagem, o conceito é utilizado como um atributo tanto de linhagens quando de sistemas, não respeitando a descontinuidade ressaltada por Caponi e incorrendo numa sobreposição conceitual entre o que consiste em um caractere (característica de uma linhagem) e o que consiste em uma parte de um sistema ao tratar de mudanças ocorridas nas restrições que compõem uma organização.

Outro conceito central à abordagem do grupo ORGANISM é o de função, que recebe uma definição no âmbito da Teoria Organizacional da Autonomia como a contribuição que uma restrição exerce para a manutenção da organização em que está inserida e que, em troca, mantém a própria restrição. Um dos objetivos da chamada abordagem organizacional de função é promover um tratamento unificado de função, incorporando aspectos teleológicos, normativos e disposicionais que são apenas parcialmente contemplados ou até mesmo abandonados pelas principais

abordagens, a etiológica e a sistêmica, que dominaram os debates sobre função ao longo do século XX (tendo entre seus maiores nomes Wright e Cummins, respectivamente). Entre as diversas críticas que a Teoria Organizacional da Autonomia e sua abordagem sobre função receberam está a de não oferecer um tratamento satisfatório às funções intergeracionais. A resposta a essa crítica permite vislumbrar os fundamentos da Teoria Organizacional da Autonomia com uma clareza pouco presente em outros escritos do grupo ORGANISM. Ao analisar essa resposta, percebemos que há problemas na forma como a organização é tratada.

Assim, o segundo artigo busca explorar as relações entre a teoria do grupo ORGANISM (mais especificamente, a Teoria Organizacional da Autonomia) e a distinção entre a biologia de sistemas e a biologia de linhagens. O texto consiste numa contribuição original para o campo da filosofia da biologia, ao mostrar como a Teoria Organizacional da Autonomia ainda falha em seu objetivo declarado de promover uma síntese entre as duas biologias sob a moldura da organização enquanto fechamento de restrições. Primeiro, são mostradas as implicações dessa falha para o princípio básico da variação, que considera as variações não só como um atributo de linhagens, mas, também, de forma errônea, um atributo de sistemas individuais. Em seguida, argumento que as escolhas teóricas e filosóficas necessárias para que as funções intergeracionais sejam tratadas de maneira unificada com as funções intrageracionais acabam por, inadvertidamente, colocar em risco o status ontológico atribuído à organização pela Teoria Organizacional da Autonomia. Ao tratar a organização não como um atributo de sistemas, nem como um caractere de uma linhagem, a Teoria Organizacional da Autonomia coloca em xeque o status do fechamento de restrições como um regime causal não redutível aos componentes individuais de um sistema (status este que é reivindicado pelos próprios autores como um ponto forte da teoria).

Ainda que o segundo artigo não derive implicações diretas para o ensino médio de Biologia, ele contribui com implicações indiretas. Ao esclarecer uma fragilidade da Teoria Organizacional da Autonomia e, esperançosamente, contribuir para que ela possa ser sanada pelos seus proponentes e defensores, o artigo representa um

investimento para que uma teoria mais robusta e, a meu ver, bastante promissora possa de fato ser incorporada aos currículos. Ademais, o esclarecimento dos fundamentos e conceitos centrais da teoria (que de maneira alguma é de fácil assimilação) contribui para a transposição didática da mesma. Porém, como o objetivo deste artigo é estabelecer um diálogo com outros pesquisadores já familiarizados com a Teoria da Autonomia, não há um esforço de transposição por minha parte, e o texto é mais direto e sucinto.

## **COMO TRATAR DO ORGANISMO NO ENSINO MÉDIO DE BIOLOGIA: IMPLICAÇÕES PARA O CURRÍCULO.**

### **Resumo**

O excesso de conteúdos nos currículos de biologia do ensino médio é um problema de longa data e os conceitos relativos a organismos contribuem bastante para este excesso. Além disso, os organismos são geralmente apresentados como meras coleções de partes e a diversidade entre os grupos filogenéticos é enfatizada. Com a adoção da Base Nacional Comum Curricular e o estímulo ao ensino interdisciplinar, a Biologia corre o risco de ser apresentada não como uma ciência autônoma, mas como fonte de estudos de caso para teorias e princípios da Física e da Química. Este trabalho tem o objetivo de propor soluções a estes problemas e fornecer subsídios para a estruturação de currículos que levem em conta o conceito de organismo. Com base na teoria geral do organismo proposta por Zamer e Scheiner e na teoria do grupo ORGANISM, identificamos um pequeno grupo de conceitos que devem ser priorizados para permitir 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 então quatro tópicos que articulam estes conceitos como um primeiro passo para uma reestruturação curricular. Tratamos também de algumas dificuldades e obstáculos à implantação desta proposta, entre os quais estão a necessidade da transposição didática da teoria do grupo ORGANISM e alguns conflitos teóricos entre ela e a teoria do organismo de Zamer e Scheiner.

### **Introdução**

Um dos principais problemas enfrentados pelo ensino de ciências reside no excesso de conteúdos conceituais, registrado na literatura acadêmica desde o final do século XIX (MATTHEWS, 1994). O ensino de biologia não escapa a este

problema. Como mostramos em um trabalho anterior, a partir da análise de livros didáticos, estimamos que, ao longo dos 3 anos do ensino médio brasileiro, os estudantes seriam expostos a mais de 3 mil conceitos biológicos (CARVALHO, NUNES-NETO & EL-HANI, 2011). Além disso, o ensino de biologia sofre de outro problema facilmente reconhecível: uma abordagem que prioriza o estudo de subdisciplinas que constituem a biologia, de forma isolada, geralmente promovendo a memorização de conceitos que, em sua maioria, se referem às partes componentes dos sistemas biológicos (CARVALHO, NUNES-NETO & EL-HANI, 2014).

Ainda que soluções para esses problemas tenham sido propostas (e.g., AYUSO & BANET 2002; BERMUDEZ & DE LONGHI, 2006, 2008; HARLEN, 2010; NATIONAL RESEARCH COUNCIL 1990, 1996), a literatura ainda carece de orientações claras sobre como os diversos agentes do sistema educacional, desde criadores de políticas educacionais até professores em atividade, podem selecionar o que é importante ensinar. Muitas das sugestões enfatizam a necessidade de priorizar o ensino das principais ideias da biologia, mas falham em explicitar como reconhecê-las. Em um trabalho anterior (CARVALHO, NUNES-NETO & EL-HANI, 2020), propusemos critérios assumidamente não definitivos com o intuito de aprofundar as discussões sobre como a dimensão epistemológica da biologia pode servir de base para a construção de currículos sem, no entanto, deixar de lado outras dimensões, como a social e a axiológica (GUIMARÃES *et al.*, 2008). Nossa proposta relativa a esses critérios busca aliar ideias já presentes na literatura sobre ensino de ciências com aspectos da filosofia da biologia que julgamos fundamentais para a compreensão dessa ciência e do modo como ela deve, a nosso ver,) ser ensinada.

Focamos na dimensão epistemológica por entendermos que o ensino de Biologia tem como base um conhecimento de referência que deve ser didaticamente transposto para ser ensinado, mas que deve haver algum tipo de correspondência entre ambos, no que Chevallard (2019) denomina “vigilância epistemológica”. Esse conhecimento é o conhecimento acadêmico produzido por biólogos e pesquisadores



de outras áreas que possam ter os objetos biológicos ou a própria Biologia como objeto de estudo.

Ao longo do processo de transposição didática, o conhecimento de referência é transformado em conteúdo. Também escolhemos, em nossa proposta, por tratamos prioritariamente da dimensão conceitual dos conteúdos. Coll e colaboradores (1992) fazem a distinção entre conteúdos conceituais (referentes a dados, fatos e princípios), procedimentais (conjuntos de passos utilizados para realizar alguma tarefa física ou mental) e atitudinais (conjuntos de valores e posturas) que são utilizados como meios para o que o estudante atinja os objetivos de ensino relativos, respectivamente, ao que ele deve saber, saber fazer e ser. Conrado e Nunes-Neto (2018) elaboram essa tipologia e mostram que ela não é uma divisão estanque entre categorias (com determinado conteúdo de ensino sendo incluído em apenas uma delas), mas que cada conteúdo poder ser utilizado como meio para atingir objetivos específicos de todos aspectos listados por Coll, sendo então dotado de três *dimensões*: uma conceitual, outra procedimental e outra atitudinal. Nosso foco na dimensão conceitual se deve apenas a uma questão de estabelecer um foco que possibilite a exequibilidade do trabalho, não a uma valorização maior desta dimensão sobre as outras duas.

Tendo isso em vista, devemos delimitar o que trataremos por currículo. Saylor e Alexander (1974 *apud* MOREIRA & AXT, 1986) listam quatro conceitos de currículo que dialogam entre si: o de matéria de ensino, o de experiências que o aprendiz tem na escola, o de objetivos a serem alcançados, e o de planejamento. Porém, neste trabalho, adotaremos prioritariamente a ideia de currículo como matéria de ensino no intuito de 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.

Essa visão, fortemente associada à visão tradicional de currículo, pode ser vista como obsoleta pela maioria dos estudiosos sobre currículo atuais. De fato,

reconhecemos suas limitações, mas 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.

Assim, nossa proposta de critérios que podem ser utilizados para guiar a construção de currículos de Biologia inclui: 1 - priorizar o ensino de conceitos estruturantes da biologia (GAGLIARDI, 1986), concentrando esforços em um número menor de conceitos, em comparação com os currículos atuais, que permitam aos estudantes, exatamente por seu caráter estruturante, a compreensão futura de uma maior quantidade de outros conceitos (mais específicos), inclusive fora do ambiente escolar; 2 - adotar uma proposta de moldura conceitual para a biologia (SCHEINER, 2010) que possibilite a compreensão de como suas teorias e outros construtos epistemológicos mais específicos (e.g., modelos, hipóteses etc.) se articulam entre si, favorecendo a identificação dos conceitos estruturantes dessas teorias e da biologia como um todo, além dos conceitos que permitam compreender as conexões entre as subdisciplinas biológicas; 3 – dar atenção equivalente, na construção do currículo, à biologia funcional (que estuda fenômenos que envolvem o

funcionamento dos sistemas biológicos, priorizando seu caráter termodinâmico) e à biologia evolutiva (que se ocupa dos fenômenos que afetam as linhagens biológicas, priorizando o caráter histórico das mesmas) (MAYR, 1961, 2004; CAPONI, 2008, 2013), reduzindo o número de conceitos pertencentes à primeira e aumentando o número dos conceitos pertencentes à segunda; e 4 - buscar um equilíbrio entre o número de conceitos que se referem a componentes sistêmicos, processos e descritores<sup>1</sup>, deflacionando a quantidade dos primeiros e aumentando o destaque dado aos dois últimos (CARVALHO *et al.*, 2014, 2020).

O objetivo de nossa proposta não é estabelecer todos os critérios necessários para a construção de currículos de biologia, mas colocar alguns deles em pauta. No presente artigo, discutiremos esses critérios em maior detalhe quando necessário. Uma descrição completa de nossa proposta, bem como das qualificações necessárias para seu entendimento, pode ser encontrada em Carvalho e colaboradores (2020). Por ora, é suficiente focar na moldura conceitual de Scheiner, e entender como ela permite perceber uma característica do atual ensino de biologia que consideramos problemática e da qual trataremos neste trabalho.

Para Scheiner, a biologia é constituída de uma teoria que assume uma estrutura hierárquica, sendo subordinadas a ela cinco teorias gerais: da genética, da célula, do organismo, da ecologia e da evolução, cada uma com domínio<sup>2</sup> e princípios fundamentais<sup>3</sup> próprios. Considerando a quantidade de conceitos derivados de cada área da biologia que são encontrados em livros didáticos de biologia do ensino médio (CARVALHO *et al.*, 2011), as duas áreas que contribuem com mais conceitos são a fisiologia e a zoologia, com 19% e 16%, respectivamente. Essas duas áreas lidam primariamente com ideias que se subordinam à teoria geral do organismo, no esquema conceitual proposto por Scheiner (2010). Levando em conta outras áreas que têm o organismo como principal objeto de estudo (como botânica, microbiologia,

---

<sup>1</sup> Conceitos que se referem a características, funções, propriedades, categorias e padrões necessários para descrever e compreender de forma satisfatória os sistemas e linhagens biológicos.

<sup>2</sup> O domínio de uma teoria pode ser entendido, conforme propõem Pickett e colaboradores (2007, p. 38), como “[...] o conjunto de objetos, relações e dinâmicas em escalas espaciais e temporais específicas que são objeto da investigação científica.”

<sup>3</sup> “Princípios fundamentais” são, para Scheiner (2010), proposições gerais, de amplo escopo, que descrevem padrões empíricos e processos que operam dentro do domínio de uma teoria, tomando a forma de conceitos e generalizações confirmadas.

micologia, embriologia, histologia e biologia de algas), os conceitos relacionados à teoria do organismo somam 60% do total de conceitos presentes nos livros didáticos, enquanto, para efeito de comparação, os conceitos de sistemática e evolução (áreas dedicadas à biologia evolutiva) somam apenas 8% (CARVALHO *et al.*, 2011)<sup>4</sup>.

Com base nesses números, podemos concluir que avançar uma proposta de como selecionar conceitos da teoria do organismo para inclusão no currículo, de modo a diminuir a quantidade de conceitos nele presentes, já teria um impacto positivo no ensino e na aprendizagem de biologia. Mas o grande número de conceitos não é o único problema na forma como tradicionalmente se ensina sobre organismos. A atual abordagem de ensino sobre biologia dos organismos é fragmentada e prioriza a separação entre as disciplinas biológicas (MEGLHIORATTI *et al.* 2009; FARIA & COMPIANI, 2015), 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 (PCN), em trechos como o seguinte: “Para o estudo da diversidade de seres vivos, tradicionalmente da Zoologia e da Botânica, é adequado o enfoque evolutivo-ecológico, ou seja, a história geológica da vida” (BRASIL, 2000, p.18). De maneira semelhante, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) traz, na habilidade EM13CNT202, a necessidade de que os estudantes se tornem capazes de “Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas [...]” (BRASIL, 2020, p. 557). Assim, são abordados em sala de aula, por exemplo, os diversos grupos de plantas, animais, fungos, algas, microrganismos etc., ressaltando-se suas particularidades e deixando-se em segundo plano o que os organismos de todos esses grupos têm em comum.

Não estamos de modo algum argumentando que a diversidade não seja um aspecto fundamental da biologia. Apenas ressaltamos que, se aceitamos que um dos objetivos das ciências naturais é a identificação de regularidades presentes na

---

<sup>4</sup> A ecologia é a terceira área que mais contribui, com 11% do total de conceitos. Os 21% restantes também são compostos por conceitos de áreas que lidam primariamente com a biologia funcional.

natureza, é preciso dar destaque também às propriedades compartilhadas pelos seres vivos, e não somente a um nível molecular – onde a unidade dos seres vivos é frequentemente mencionada no ensino –, mas também acima dele (NEHM, 2019). Ou seja, é necessário ir além de um enfoque puramente molecular e genético ao tratar a unidade dos seres vivos (como ocorre, por exemplo, quando se enfatiza que o código genético é o que une todos esses seres, ideia também evidente nos PCN, mas ausente na BNCC), considerando propriedades compartilhadas em níveis hierárquicos mais altos (e que são conhecimento comum entre os biólogos).

Outro problema comum do ensino sobre organismos é o foco numa abordagem reducionista de sua composição (anatomia) e de seu funcionamento (fisiologia), aplicando-se apenas métodos analíticos que visam entender as partes e suas relações para depois tentar compreender o todo, ou até mesmo atomísticos, estudando-se as partes isoladas, sem considerar suas relações. Dessa maneira, promove-se um entendimento fragmentado do que é e como funciona um organismo. Esta forma de ensinar reflete uma tendência mecanicista que tem sido dominante no desenvolvimento do pensamento biológico desde meados do século XIX, apoiando-se sobre o uso de estratégias e ferramentas teóricas e metodológicas que tiveram grande sucesso na Física e na Química. Uma alternativa a essa abordagem (da qual trataremos mais adiante) é o organicismo, que pretende explicar os organismos evitando tanto visões vitalistas, que postulam a existência nesses sistemas de alguma força ou energia não passível de conhecimento pelas ciências naturais (uma energia ou força vital), quanto um reducionismo metodológico<sup>5</sup> (traço marcante do mecanicismo), cujas limitações têm se tornado cada vez mais evidentes nas últimas décadas (mais detalhes sobre estas limitações na próxima seção).

---

<sup>5</sup> O reducionismo metodológico é um postura relativa aos procedimentos e estratégias de explicação, ou, em outras palavras, ao modo e direcionamento da investigação (CAPONI, 2004). Mayr (1998, p. 11) compreende esse tipo de reducionismo como a ideia de que “todos os fenômenos e processos nos níveis hierárquicos mais altos podem ser explicados em termos das ações e interações dos componentes no nível hierárquico mais baixo”. Podemos dizer que o reducionismo metodológico consiste numa estratégia de decompor um sistema em suas partes constituintes, e, a partir de um entendimento dessas partes isoladas, buscar construir um entendimento sobre o sistema como um todo. Estamos utilizando a distinção comumente aceita entre reducionismo ontológico, epistemológico e metodológico, uma vez que ela satisfaz nossos objetivos no presente artigo. Para uma crítica a esta visão, ver Caponi (2014).

Ainda que existam na literatura defesas de um ensino de biologia não só inspirado no organicismo, mas também centrado no organismo (MEGLHIORATTI, EL-HANI & CALDEIRA, 2009; MEGLHIORATTI *et al.*, 2018; para uma experiência no ensino superior, ver HOESE & NOWICKI, 2001), faltam trabalhos que explorem mais a fundo como isso poderia ser alcançado, inclusive no tocante à seleção de conteúdos e construção de currículos e às contribuições das teorias do organismo a este empreendimento.

Chegamos então ao objetivo deste trabalho, que 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 disciplinas 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, levando a uma maior equivalência 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 a teorias da física e da química, demandando recursos explicativos exclusivos da biologia.

O presente artigo se insere, como já mencionado, em um projeto de proposição de bases teóricas para mudanças no currículo de biologia iniciado em Carvalho, Nunes-Neto e El-Hani (2011) e aprofundado em Carvalho, El-Hani e Nunes-Neto (2020). As ideias nele apresentadas não devem ser vistas como acabadas, mas como passos na direção de uma discussão cada vez mais aprofundada a respeito do currículo, que, esperamos, envolva não só pesquisadores em ensino de ciências, mas também filósofos, biólogos, e, especialmente, professores dos diversos níveis

de ensino e demais agentes envolvidos na construção de currículos. Assim, lembramos aos leitores que diversos pontos serão omitidos (ou pouco elaborados) devido a decisões conscientes de nossa parte, com o intuito de permitir que exploremos mais profundamente outros pontos no espaço disponível.

Isso significa, por exemplo, não abordar aqui diversos tópicos sobre construção de currículos. De fato, focamos apenas na contribuição do conhecimento acadêmico enquanto conhecimento de referência (que informa parcialmente o que será ensinado), priorizado um princípio de vigilância epistemológica para garantir que o conhecimento ensinado em sala de aula após os devidos processos de transposição didática guarde as devidas relações de semelhança com o conhecimento comunicado pelos seus produtores originais (CHEVALLARD, 1989). Não abordamos, também, as dimensões procedimentais e atitudinais dos conteúdos, diversos aspectos da filosofia das ciências e, tampouco, do construto pedagógico da natureza da ciência (ver INÊS, BRITO & EL-HANI, 2021), bem como diversos conceitos pertencentes às outras teorias gerais da biologia identificadas por Scheiner que possuem relevância para compreender como elas se articulam à teoria geral do organismo.

Também optamos por focar aqui primariamente a biologia funcional. A opção se deu porque a biologia evolutiva (embora evidentemente importante para a compreensão da origem e diversificação dos grupos de organismos) tem um papel secundário na compreensão do funcionamento dos organismos em comparação com a biologia funcional. No entanto, como já mencionamos, defendemos um ensino em que as duas biologias contribuam de forma mais equilibrada para o currículo e estejam presentes de forma integrada no ensino. Porém, sendo a evolução o domínio de outra teoria geral da biologia (na classificação de Scheiner) e havendo sobreposições entre ela e a teoria geral do organismo, eventuais comentários envolvendo os pontos de contato entre as duas teorias serão feitos.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Alguns comentários sobre os conceitos estruturantes da teoria geral da evolução podem ser encontrados em Carvalho et al. (2020).

Para a compreensão das teorias do organismo, é necessário ter em mente que existe uma distinção entre entidades existentes no mundo objetivo e as descrições que os humanos fazem delas para fins de estudo. Nosso objetivo aqui não é fazer defesa de uma epistemologia antirrealista. Só desejamos chamar atenção para o fato de que nenhum aparato do conhecimento científico necessariamente é fiel à realidade por diversos motivos, inclusive por ser construído a partir de diversas premissas (explícitas ou não) anteriores a qualquer observação (ou seja, a ciência não é atórica) (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001). Muito do que será dito adiante tem como pressuposto tratar-se da descrição de sistemas biológicos, não se enquadrando em visões realistas ingênuas sobre a ciência, que consideram que descrições que não são fiéis à realidade são menos válidas ou confiáveis, o que também tem implicações para o ensino. Este é um pressuposto em muitos escritos de filosofia da biologia e de biologia teórica, ainda que raramente mencionado de modo explícito. No contexto do presente trabalho, é importante explicitá-lo, visto que pode passar despercebido por pessoas menos familiarizadas com esses campos.

O trabalho está estruturado da seguinte forma. Na segunda seção exploramos como a interdisciplinaridade defendida pela BNCC pode incorrer no risco de promover um ensino em que a biologia é ensinada não como uma ciência autônoma, mas como uma fonte de casos específicos para exemplificar teorias e princípios da física e da química. Argumentamos que um ensino centrado no organismo e baseado no organicismo evita esse risco ao mesmo tempo em que ataca os problemas já mencionados, e traçamos um breve histórico sobre as bases filosóficas do pensamento biológico que traz elementos úteis à compreensão do surgimento do pensamento organicista e sobre como ele tem sido encarado a partir da segunda metade do século XX.

Na terceira seção, abordamos a teoria do organismo proposta por Samuel Scheiner, mostrando como ela nos permite identificar diversos conceitos com potencial estruturante para o ensino sobre organismos. Na quarta seção, tratamos de outra teoria do organismo presente na literatura, a do grupo interdisciplinar ORGANISM, que adota explicitamente uma abordagem organicista que não se



alinha completamente com o chamado organicismo *mainstream* dominante na biologia do século XX. Na quinta seção, tecemos alguns comentários (não exaustivos) sobre confluências e divergências entre as duas propostas e suas implicações para a construção de currículos de biologia para o ensino médio, bem como fazemos sugestões iniciais sobre como um currículo pode ser construído de forma a dar aos estudantes uma compreensão integrada do organismo. Na sexta seção, tecemos nossas considerações finais.

### **O organismo como um eixo do currículo de biologia**

Superar os problemas do atual ensino de biologia mencionados na introdução significa olhar para além de fatos e dados que essa ciência fornece. Significa olhar para as teorias biológicas e, mais profundamente, para a filosofia da biologia, questionando e compreendendo os fundamentos daquelas teorias mesmas, para daí derivarmos implicações para o currículo e para o ensino. No contexto brasileiro, a BNCC reconhece a importância de se trabalharem as teorias científicas no ensino médio, declarando que um dos objetivos desse nível de ensino é permitir aos estudantes “compreender e utilizar os conceitos e teorias que compõem a base do conhecimento científico-tecnológico, bem como os procedimentos metodológicos e suas lógicas” (BRASIL, 2020, p. 467). O documento afirma ainda:

Na área de Ciências da Natureza, os **conhecimentos conceituais** são sistematizados em leis, teorias e modelos. A elaboração, a interpretação e a aplicação de modelos explicativos para fenômenos naturais e sistemas tecnológicos são aspectos fundamentais do fazer científico, bem como a identificação de regularidades, invariantes e transformações. Portanto, no Ensino Médio, o desenvolvimento do pensamento científico envolve aprendizagens específicas, com vistas a sua aplicação em contextos diversos. (BRASIL, 2020, p. 548. Ênfase no original.)

Outro aspecto da BNCC que devemos observar é o estímulo à interdisciplinaridade, expresso, inclusive, pela inclusão da citação literal de um trecho do Parecer CNE/CEB nº 5/2011, destacando a necessidade de “romper com

a centralidade das disciplinas nos currículos e substituí-las por aspectos mais globalizadores e que abranjam a complexidade das relações existentes entre os ramos da ciência no mundo real” (BRASIL, 2011, p. 43). Também é citado o seguinte trecho (artigo 7º, parágrafo 2º) da Resolução CNE/CEB nº 3/2018:

O currículo deve contemplar tratamento metodológico que evidencie a contextualização, a diversificação e a transdisciplinaridade ou outras formas de interação e articulação entre diferentes campos de saberes específicos, contemplando vivências práticas e vinculando a educação escolar ao mundo do trabalho e à prática social e possibilitando o aproveitamento de estudos e o reconhecimento de saberes adquiridos nas experiências pessoais, sociais e do trabalho. (BRASIL, 2018, sem paginação)

Consoante a isso, está a organização do documento, que se dá não por disciplinas (como física, química e biologia), mas por áreas do conhecimento (como ciências da natureza e suas tecnologias), recomendando competências específicas referentes a temas gerais, e não ao conhecimento particular de cada ciência natural. Fala-se em “[...] explicar, analisar e prever os efeitos das interações e relações entre matéria e energia” (BRASIL, 2020, p. 549) o que não deve ser entendido apenas como tarefa da física e da química, mas também da biologia, e citam-se exemplos como efeitos biológicos das radiações ionizantes, mutações, ciclos biogeoquímicos e desmatamento. Também se propõe a análise “[...] dos processos relativos à origem e evolução da Vida [...], do planeta, das estrelas e do Cosmos, bem como a dinâmica das suas interações, e a diversidade dos seres vivos e sua relação com o ambiente.” (BRASIL, 2020, p. 549), integrando a biologia às outras ciências naturais.

Da maneira como se coloca, a BNCC deixa margem para uma abordagem de ensino que incorre em outro reducionismo que não o metodológico: o reducionismo epistemológico<sup>7</sup>. Ao estimular o trabalho interdisciplinar, pode-se, por exemplo, organizar um currículo em que conteúdos da física, química e biologia sejam

---

<sup>7</sup> O reducionismo epistemológico consiste na visão de que um ramo da ciência poderia ser reduzido a outro se fosse demonstrado que as teorias e leis experimentais formuladas no âmbito do primeiro seriam casos especiais das leis e teorias do segundo (AYALA, 1974). Nesses termos, se fosse possível explicar satisfatoriamente todos os aspectos dos sistemas vivos apelando-se unicamente a teorias e leis da química e/ou da física, a biologia seria redutível a essas ciências, podendo ser entendida como um ramo especializado delas, e não como uma ciência autônoma.

tratados em um mesmo componente curricular, e não mais em componentes isolados, como tem sido usual nos currículos de ciências. Por mais que a interdisciplinaridade seja desejável, ela traz, contudo, também o risco de um ensino que, se pouco informado pela filosofia da biologia, promova a ideia de que sistemas biológicos podem ser entendidos com base apenas em aparatos teóricos pertencentes à química e, em última análise, à física<sup>8</sup>.

Um exemplo dessa abordagem seria a utilização de sistemas biológicos apenas como estudos de caso que permitiriam tratar de ideias da física e da química. Ao abordar os órgãos dos sentidos da espécie humana, por exemplo, um professor poderia tratar de temas como ondas eletromagnéticas e ondas mecânicas (ao falar sobre visão e audição) ou a difusão, concentração e solução de substâncias (ao falar sobre olfato e paladar). Ainda que essa estratégia não seja problemática em si mesma, ela estaria incompleta e incorreria em reducionismo epistemológico se tratasse apenas das leis e hipóteses físicas e químicas que permitem explicar o funcionamento dos sentidos, deixando de lado ideias próprias da biologia, como as contribuições dos órgãos dos sentidos para a persistência dos organismos, como eles afetam suas relações ecológicas, ou a evolução desses órgãos nos mais diversos grupos de seres vivos, com suas semelhanças e diferenças.

Um fator que pode contribuir para este tipo de reducionismo é a ausência de uma estrutura teórica para a biologia que seja facilmente reconhecível por pesquisadores e professores. Este é, exatamente, um problema que Scheiner (2010) tenta resolver com sua proposta. Uma vez que as estruturas da física e da química são mais explícitas, pode parecer natural ao professor que deverá trabalhar com as ciências da natureza, conforme a BNCC, recorrer a elas como ponto de partida para o planejamento de currículos ou atividades que integrem as três ciências.

Há, basicamente, duas maneiras (não mutuamente exclusivas) de pensar a biologia como uma ciência não redutível epistemologicamente à física e à química. Uma delas apela à teoria da evolução, ressaltando como os sistemas vivos estão

---

<sup>8</sup> Uma análise mais profunda sobre os benefícios e prejuízos da interdisciplinaridade na BNCC foge aos objetivos deste trabalho, mas uma visão crítica sobre os problemas que ela traz à disciplina Biologia pode ser vista em Selles e Oliveira (2022).

sujeitos à seleção natural e a outros processos evolutivos, constituindo-se como fenômenos históricos, variáveis e contingentes<sup>9</sup>, que requerem, para seu estudo, aparatos teórico-metodológicos ausentes na física e na química (que tratam, em sua grande maioria, de entidades ahistóricas, para cuja explicação a variabilidade e a contingência podem ser negligenciadas). Dar mais destaque à biologia evolutiva, como já amplamente recomendado na literatura (e.g.: ANDREATTA & MEGLHIORATTI, 2009; WEI, BEARDSLEY & LABOV, 2012; ARAÚJO, 2020; COLLI, ANDRADE & BASTOS, 2021), inclusive em nossa proposta, já contempla esta visão.

Porém, esta visão deixa margem para argumentos de que a biologia funcional seria, por sua vez, redutível à física e à química. A segunda maneira de pensar a irreduzibilidade epistemológica da biologia à física e à química mostra não ser este o caso, ao afirmar que há mais características dos sistemas vivos, além de sua historicidade, que não seriam explicáveis apelando-se exclusivamente a estas duas ciências. Muitas vezes, esta visão recorre à ideia de propriedades emergentes e/ou organização. A visão organicista da biologia propicia uma abordagem particularmente poderosa para sustentar sua irreduzibilidade epistemológica, sendo esta uma das principais razões pela qual propomos ser desejável potencializar sua influência sobre o ensino de biologia.

Para que a visão organicista seja aplicável ao ensino, ela deve ser objeto de transposição didática (CHEVALLARD, 1989). Contudo, para que a transposição seja realizada, é preciso partir de um entendimento consolidado do conhecimento de referência a ser transposto. Não dispomos atualmente, no entanto, de teorias do organismo estruturadas e amplamente reconhecidas como tal, no próprio campo da biologia. Isso se deve, em parte, ao fato de o próprio conceito de organismo ter perdido destaque no pensamento biológico ao longo do século XX. Conhecer a trajetória histórica que levou a este estado de coisas nos permite analisar uma série

---

<sup>9</sup> Fenômenos históricos são aqueles que não possuem natureza determinística e são fortemente influenciados por contingências. Nesse caso, para explicar por que determinado resultado foi obtido e não outros, é necessário reconstruir cadeias de eventos específicos, em vez de apelar apenas a teorias, leis e/ou modelos gerais. A evolução tem natureza histórica (por exemplo, o meteoro que foi fundamental para a extinção dos dinossauros poderia nunca ter se chocado com a Terra).

de concepções e ideias que baseiam os currículos de biologia e até mesmo visões populares sobre o mundo vivo.

Por muito tempo, falar em “estudar a vida” equivalia a “estudar o organismo”. Porém, a concepção do que torna os organismos únicos em relação ao restante do mundo natural se alterou com o tempo, indo da postulação de entidades sobrenaturais ao apelo a particularidades de sua organização. Mayr (1997) delinea o percurso histórico dessas ideias. Segundo ele, a partir da Revolução científica do século XVII, a tendência de explicar o mundo natural sem apelar a ideias religiosas, místicas ou sobrenaturais foi estendida ao estudo dos seres vivos com o mecanicismo de Descartes, em meados do século XVII. Entretanto, o mecanicismo falhava em explicar diversos aspectos dos seres vivos, o que levou à defesa e proliferação de abordagens vitalistas, baseadas na ideia de que os seres vivos possuíam em seu interior elementos ausentes na matéria sem vida, como, por exemplo, substâncias ou fluídos específicos, ou alguma força ou energia vital. Esses fluidos, forças ou energias não poderiam ser explicados com base apenas na física e na química. A impossibilidade de testar experimentalmente a existência de uma força vital e os avanços da química molecular (que não encontraram componentes especiais nos seres vivos) gradativamente fizeram o vitalismo perder prestígio. Ao longo do século XIX o mecanicismo volta a receber mais atenção e, nas primeiras décadas do século XX, o vitalismo já não encontrava mais apoio no meio científico. A genética passou a oferecer explicações para vários fenômenos com base nos quais vitalistas construía argumentos contra o mecanicismo (como a sequência de etapas do desenvolvimento embrionário). No fim, os mecanicistas estavam certos ao afirmar que seria possível explicar a vida no nível molecular apelando à física e à química, sem necessidade de apelar a componentes sobrenaturais. Por sua vez, os vitalistas tinham razão ao dizer que os seres vivos apresentam propriedades ausentes na matéria sem vida, sendo organizados em diversos níveis. O organicismo foi a abordagem que incorporou estes dois aspectos, constituindo um caminho do meio entre o vitalismo e o mecanicismo, aceitando que o que diferencia os seres vivos da matéria sem vida não é sua composição, e sim sua organização,

levando em consideração os vários níveis de organização que constituem os sistemas vivos e as relações entre parte e todo nessa hierarquia organizacional.

Entretanto, isso não significa que o organismo tenha recebido o destaque que deveria na biologia. Pelo contrário, ele deixou de ter papel central na investigação biológica em favor de um projeto reducionista dominado pela biologia molecular (que foca nos níveis hierárquicos inferiores dos sistemas vivos), por um lado, e pelo evolucionismo (que foca na história das linhagens e, a partir da Síntese Moderna, na composição genética das populações), pelo outro. El-Hani e Emmeche (2000) chamam este caminho do meio de “*organicismo mainstream*”: uma posição que acabou por funcionar mais ou menos tacitamente como um pano de fundo filosófico para a biologia e que assume a organização como algo importante, mas que, no fim, voltou suas atenções para estratégias de pesquisa metodológico reducionistas (vistas como úteis, ainda que reconhecidas suas limitações).

Segundo Nicholson (2014), o organismo foi colocado em segundo plano em nome de entidades situadas em níveis hierárquicos<sup>10</sup> inferiores (como os genes) ou superiores (como as populações). A própria filosofia da biologia da segunda metade do século XX deixou de lado, em grande medida, discussões sobre a natureza do organismo, considerando-as muito metafísicas, não se ocupando, assim, de temas centrais no pensamento biológico, como as maneiras pelas quais a organização dos sistemas vivos é mantida, ou como funções biológicas são coordenadas, ou como seres vivos diferem de sistemas inanimados. Boa parte do pensamento biológico passou a ver o corpo dos organismos como a manifestação física da ação de um suposto “programa genético” capaz de determinar suas estruturas e funções biológicas, de modo que os organismos chegaram a perder o papel de agentes sobre si mesmos. A própria definição da biologia funcional proposta por Mayr (1961) foi formulada em termos da decodificação da informação contida no DNA de um zigoto.

---

<sup>10</sup> Ao longo deste trabalho, damos preferência ao termo “nível hierárquico” em lugar de “nível de organização” para evitar ambiguidades, uma vez que o termo “organização” recebe uma definição mais específica no âmbito da teoria do grupo ORGANISM, como explicado mais adiante.

A partir da combinação, na Síntese Evolutiva Moderna, da teoria da seleção natural com a genética mendeliana e a biometria, dando origem à genética de populações, os biólogos evolutivos passaram a focar sua atenção, prioritariamente, sobre o modo como populações mudam ao longo tempo (o que Moss [2003] chama de “virada filogenética”). Para tanto, passaram a entender a evolução como dependente de três fenômenos relativamente independentes entre si: herança (cuja unidade básica seria o gene), desenvolvimento (processo pelo qual um óvulo fertilizado começa a se diferenciar morfológica e fisiologicamente até formar um adulto, o que envolveria a execução de um programa codificado nos genes) e adaptação (processo que faz com que populações sejam compostas por organismos adequados às condições ambientais e que envolve mudanças nas frequências gênicas das populações ao longo do tempo). Apenas o gene era visto, então, como crucial para os três fenômenos, o que lhe conferiu papel central e unificador nas explicações. Nesses termos, o organismo seria, então, apenas o ponto de encontro entre genes (dos quais seria um epifenômeno<sup>11</sup>) e ambiente, ou, em outras palavras, entre variação e regime seletivo.

Por sua vez, a biologia molecular adotou técnicas analíticas da biofísica e da bioquímica para explicar fenômenos celulares em termos de macromoléculas, obtendo grande sucesso inicial em sua busca de entender o sistema vivo com base na premissa de que explicando as partes (as células) seria possível compreender o todo (o organismo). Mais especificamente, se associava a essa premissa a crença de que a informação flui unidirecionalmente do DNA para as proteínas, e as proteínas, por sua vez, são determinantes da estrutura e do funcionamento do sistema vivo, atribuindo-se aos genes, assim, a determinação da forma, da função e do comportamento de um organismo.

---

<sup>11</sup> Um epifenômeno é um produto incidental (um subproduto) de um outro processo que não tem poder causal sobre si mesmo (BLACKBURN, 2005). Os padrões de claro e escuro resultantes da luz, que permitem a leitura de um texto na tela de um computador ou celular, por exemplo, são epifenômenos resultados do funcionamento das placas de circuitos e outros componentes eletrônicos que formam os aparelhos, não podendo gerar a si mesmos. Considerar o organismo como um epifenômeno dos seus genes é retirar a autonomia e poder de agência dos organismos, além de manifestar reducionismo epistemológico.

O retorno do interesse no organismo, argumenta Nicholson (2014), se deve ao crescente questionamento, a partir do fim do século XX, da capacidade de a Síntese Moderna explicar satisfatoriamente o processo evolutivo e de que a abordagem reducionista da biologia molecular é limitada (bem como a biologia de sistemas, que tenta superar essas limitações), e a um renovado interesse na natureza da vida como um problema básico na biologia teórica. A independência entre herança, desenvolvimento e adaptação foi questionada a partir de uma melhor compreensão de mecanismos de herança epigenética (que permitem aquisição de variação fenotípica e sua transmissão entre gerações), do melhor entendimento de que os genes são apenas um fator entre muitos envolvidos no desenvolvimento e do reconhecimento de que o desenvolvimento interfere no que é herdado (por exemplo, através de fenômenos como a plasticidade fenotípica) e, portanto, no que é selecionado. Desta forma, o organismo passa a ser central para entender a evolução (uma vez que herança, desenvolvimento e adaptação passam a ser vistas como consequências de capacidades do organismo), com os genes perdendo parte de sua importância nas explicações, embora se mantenham relevantes. Desse modo, o organismo deixou de ser visto apenas como objeto da explicação evolutiva (o organismo como *explanandum*), para fazer parte da explicação em si (o organismo como *explanans*).

Já a estratégia reducionista começou a perder fôlego no fim do século XX, quando se aceitou que as sequências de DNA não possibilitam explicar, por si só, como as proteínas interagem para produzir estruturas, funções e comportamentos orgânicos. Os resultados do Projeto Genoma Humano mostraram que a prometida revolução na pesquisa biomédica não viria (ver, por exemplo, BAINS, 2001; VENTER, 2007), dando lugar a outros programas que tomaram como ponto de partida a catalogação e caracterização de moléculas como RNA, proteínas e outras moléculas envolvidas no metabolismo, além da identificação de módulos funcionais acima do nível das macromoléculas e das redes de interação entre elas. Surgiu assim a chamada biologia de sistemas, que tem se dedicado à geração de enormes bancos de dados, aos quais se aplicam ferramentas matemáticas e



simulações computacionais na esperança de gerar entendimento, principalmente modelando interações entre componentes da célula. Entretanto, ela recebe a crítica de ser apenas mais um tipo de reducionismo, incorrendo nas mesmas limitações da biologia molecular (para uma discussão mais aprofundada, ver NICHOLSON, 2014).

Nicholson (2014) argumenta que, para ir além dessas críticas, é necessária uma abordagem que considere os sistemas orgânicos verdadeiramente enquanto sistemas, e não apenas enquanto coleções de partes. Deve-se compreender o todo olhando para o todo enquanto se mantém em mente que, por conta de sua organização, suas partes interagem de forma não linear, o que gera novas propriedades, ausentes nos componentes isolados. Além disso, as atividades de um sistema biológico são realizadas não por partes isoladas, mas simultaneamente e em coordenada interação, não por um único nível hierárquico, mas por todos eles, com o todo também exercendo influência sobre as partes. Indo além, é necessário entender como elas se concatenam em processos sequenciais em várias escalas de tempo (desde a síntese de uma proteína, por exemplo, ao desenvolvimento que se desenrola ao longo da vida de um animal).

A partir da insatisfação com a estratégia reducionista, os questionamentos sobre a natureza da vida voltaram a atrair filósofos e biólogos, que começaram a mudar o foco, deixando de dar atenção excessiva à simples constituição material dos sistemas vivos e passando a levar em consideração que a vida não é uma propriedade da matéria que constitui um sistema, mas de sua organização, o que traz de volta o papel explicativo central do organismo (NICHOLSON, 2014).

Como um dos resultados dessas mudanças, surgiram propostas de teorias organicistas, dentre as quais destacamos os trabalhos do grupo interdisciplinar ORGANISM, composto por pesquisadores de áreas como filosofia da ciência, biologia, matemática e medicina (e.g.: MOSSIO, MONTÉVIL & LONGO, 2016; MONTÉVIL *et al.*, 2016; SOTO *et al.*, 2016a).

O objetivo declarado desse grupo é a proposição de uma teoria do organismo baseada em uma filosofia organicista que permita superar as limitações do mecanicismo e ir além do reducionismo metodológico ainda bastante influente no

organicismo *mainstream*, diferindo dessa visão, inclusive, por resgatar noções que foram abandonadas pela biologia no início do século XX, como a noção de teleologia adotada por Kant (ver MORENO & MOSSIO, 2015). O grupo busca desenvolver um arcabouço conceitual que não só permita a compreensão do que são organismos, mas que também seja operacionalizável de forma a orientar explicitamente pesquisas empíricas sobre estas entidades. A teoria é estruturada de forma a levar em conta as continuidades entre o mundo puramente físico e o mundo biológico (admitindo, como todas as ciências naturais, o reducionismo ontológico<sup>12</sup>), mas também as diferenças, ressaltando pontos em que a biologia permite a explicação de fenômenos que a física sozinha não consegue dar conta (evitando os reducionismos epistemológico e metodológico). Tal teoria certamente tem contribuições para um ensino de biologia que se proponha a, no mínimo, incorporar aspectos organicistas.

Outra proposta de teoria do organismo disponível na literatura que nos interessa analisar é a já mencionada teoria apresentada por Samuel Scheiner (SCHEINER, 2010; SCHEINER & WILLIG, 2008; ZAMMER & SCHEINER 2014). Essa proposta, entretanto, se encaixa em um esforço para estabelecer uma estrutura teórica para toda a biologia, sem compromissos explícitos de se afastar do organicismo *mainstream*. Apesar disso, acreditamos que ela pode dar importantes contribuições para nossos objetivos, por trazer à tona de forma sistematizada muitos pressupostos do pensamento biológico que também embasam, ainda que parcialmente, a abordagem do grupo ORGANISM. Entretanto, na medida em que a teoria de Scheiner foi construída para se assemelhar a um retrato do conhecimento biológico dominante em um contexto histórico no qual a estratégia reducionista ainda é bastante influente na comunidade de biólogos, ela está impregnada de ideias que não possuem lugar na visão organicista defendida pelo grupo ORGANISM. Nosso propósito aqui, todavia, não é o de construir uma síntese filosófica e/ou teórica entre

---

<sup>12</sup> Aplicado à biologia, o reducionismo ontológico é uma visão segundo a qual todo fenômeno ou entidade biológica é composta unicamente por fenômenos e entidades físico-químicas e que, por isso, está sujeita às leis físicas e químicas que regem seus componentes (CAPONI, 2004). É importante ressaltar, porém, que aceitar o reducionismo ontológico não significa aceitar necessariamente o reducionismo epistemológico e o reducionismo metodológico.

estas duas teorias do organismo, mas, antes, de estabelecer um diálogo que enfatize suas convergências, ao mesmo tempo em que lance luz sobre suas divergências mais evidentes. Retornaremos às diferenças entre as duas teorias na quinta seção deste trabalho.

A teoria de Scheiner tem a vantagem adicional de mostrar como a teoria geral do organismo tem conexões com as outras teorias gerais da biologia identificadas por esse autor (as teorias da genética, da célula, da ecologia e da evolução). Assim, ela pode ser vista como um eixo integrador da biologia funcional, sendo priorizada em conjunto com a teoria da evolução para assim dar uma visão completa e estruturada das “duas biologias” (contribuindo tanto para a comunidade acadêmica, quanto para a construção de currículos). Como Moreno e Mossio (2015) argumentam, a afirmação de que nada na biologia faz sentido exceto à luz da evolução seria um exagero, já que não seria possível reduzir a lógica do funcionamento de um ser vivo à sua genealogia, assim como é possível entender parte de seus aspectos sem apelar à evolução.

### **A estrutura teórica da biologia e a teoria do organismo segundo Scheiner**

Ainda que não exista consenso sobre qual seria a estrutura teórica da biologia, há sugestões disponíveis na literatura. Em nossos trabalhos, adotamos a proposta do estadunidense Samuel Scheiner e colaboradores (SCHEINER & WILLIG, 2008; SCHEINER, 2010; SCHEINER & WILLIG 2011; ZAMER & SCHEINER, 2014; SCHEINER & MINDELL, 2020), um projeto que busca estabelecer uma estrutura teórica para a biologia na forma de uma moldura conceitual<sup>13</sup> da biologia, assumidamente não concluído e que vem sendo aprimorado ao longo de diversos trabalhos. Aqui, abordaremos os principais aspectos deste projeto, sendo que mais detalhes podem ser encontrados nos trabalhos originais.

O termo estrutura “denota os componentes e relações que efetivamente constituem uma unidade em particular”, sendo que ela possui uma organização, ou

---

<sup>13</sup> “*Conceptual framework*”, no original em inglês.

seja, “relações que devem existir entre os componentes de um sistema para que ele seja membro de uma classe específica” (MATURANA & VARELA, 1987, p. 47. Há tanto estruturas materiais quanto estruturas conceituais. A partir desta definição, para identificar a estrutura conceitual do conhecimento biológico, devemos esclarecer quais são seus componentes (conceitos, princípios, teorias, modelos, premissas etc.) e como eles se relacionam entre si.

Para Scheiner e Willig (2008, p. 21), uma teoria seria “uma moldura ou sistema de conceitos e proposições que fornecem explicações causais de fenômenos dentro de um domínio em particular”. Scheiner (2010, p. 296) também ressalta que teorias podem ter várias formas, inclusive “molduras hierárquicas que conectam amplos princípios gerais a modelos altamente específicos”.

Este aspecto hierárquico se expressa na moldura teórica da biologia proposta por Scheiner (2010) 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.

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. Subordinadas à teoria da biologia, estão cinco teorias gerais: genética, célula, organismo, ecologia e evolução, cada uma delas possuindo seus próprios princípios fundamentais, também listados por Scheiner e colaboradores (SCHEINER & WILLIG, 2008; SCHEINER, 2010; SCHEINER & MINDELL, 2020; ZAMER & SCHEINER, 2014). Aqui, nos limitaremos à análise da teoria da biologia no que se refere à teoria geral do organismo e seus respectivos princípios.

Essa decisão se justifica por três motivos. O primeiro é que os princípios fundamentais da teoria da biologia trazem conceitos estruturantes cujo entendimento é necessário para o entendimento apropriado de diversos conceitos da teoria geral do organismo (bem como das outras teorias gerais). O segundo motivo é o nível de generalidade dos conceitos estruturantes apresentados na teoria da biologia, sendo eles os mais úteis à compreensão de conceitos apresentados nos níveis inferiores da hierarquia da moldura conceitual. O terceiro motivo é fato de o projeto de Scheiner estar em estágio inicial e não haver muitas publicações voltadas à formalização de teorias constituintes e identificação de modelos subordinados à teoria geral do organismo, exceto por Zamer e Scheiner (2014)<sup>14</sup>.

O terceiro motivo, entretanto, não deve ser visto como uma limitação a nosso objetivo neste trabalho. A identificação dos conceitos estruturantes no nível da teoria geral do organismo já constitui um avanço em relação ao ensino atual, por ser um esforço guiado por princípios explícitos e sujeitos à crítica e ao aprimoramento em conjunto com outros pesquisadores e professores. Em trabalho anterior (CARVALHO *et al.*, 2020) defendemos que o nível apropriado para a identificação dos conceitos estruturantes seria o das teorias constituintes, objetivando a compatibilização entre o nível de generalidade e a dificuldade de compreensão por parte dos estudante devida ao nível abstração de tais conceitos. Continuamos defendendo este ponto de vista, mas devemos ter em mente que o presente trabalho

---

<sup>14</sup> No que se refere à teoria geral da ecologia (SCHEINER & WILLIG, 2011) e à teoria geral da evolução (SCHEINER & MINDELL, 2020) os esforços de formalização já estão mais avançados, com teorias constituintes e modelos tendo sido propostos.

é um primeiro passo e que a tarefa de tratar das teorias constituintes será levada a cabo futuramente.

Zamer & Scheiner (2014) ressaltam que na biologia de organismos os domínios das teorias já existentes e passíveis de serem reconhecidas como teorias constituintes seriam definidas por funções ou processos dos organismos (como comportamento e atividades glandulares) ou por grupos de organismos (como mamíferos). Acreditamos serem mais frutíferas estratégias de ensino que tomem como ponto de partida as funções e processos aliadas a uma abordagem evolutiva de comparação entre grupos filogenéticos (BRASIL, 2000; LOPES, FERREIRA & STEVAUX, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2011; SILVA, 2017). Desta forma, acreditamos, é mais fácil tratar sobre a diversidade das formas de vida sem que se perca de vista o que elas possuem em comum.

Observemos agora os princípios fundamentais da teoria da biologia. Alguns comentários já foram feitos sobre como eles nos permitem identificar os conceitos estruturantes desta teoria em Carvalho e colaboradores (2020) e serão retomados aqui, junto a novas considerações que ressaltem como estes conceitos contribuem para a compreensão da teoria geral do organismo<sup>15</sup>. Analisemos, então, cada princípio fundamental como expressos em Scheiner (2010).

*Princípio 1.1: “A vida consiste em sistemas abertos, em estado de não equilíbrio e persistentes”*

Deste princípio, podemos deduzir os conceitos de **sistema**, **equilíbrio termodinâmico**, **energia** e **persistência**. A persistência pode ser compreendida como a manutenção da existência tanto de um organismo em tempo de vida, quanto de linhagens ao longo de éons. Aqui, nos interessa o primeiro caso. Em um universo que tende à desordem, a existência de entidades que se mantêm ordenadas e longe do equilíbrio termodinâmico requer explicação, encontrada com base no fato destas

---

<sup>15</sup> É válido ressaltar que no trabalho anterior priorizamos os conceitos relacionados mais diretamente à biologia por uma questão de foco. Neste, alguns conceitos de outras ciências (física e matemática, prioritariamente) serão também analisados por sua relevância para o estudo da biologia dos organismos. Também fazemos comentários sobre o tratamento atualmente dado aos conceitos estruturantes identificados no ensino médio, quando julgamos necessário.

entidades serem sistemas abertos que trocam matéria e energia com o ambiente de forma ativa (SCHEINER, 2010).

Embora fundamentais à biologia, tais reflexões estão comumente ausentes no ensino médio. Temas como o que diferencia os seres vivos dos não vivos geralmente são tratados não com base em ideias da termodinâmica, com menções a ordem e desordem e ao conceito de persistência, mas em listas de propriedades como nascimento, reprodução e irritabilidade, entre outros. Por um lado, essas listas são problemáticas por frequentemente aludirem a características que não estão presentes em todas as formas de vida. Por outro, elas falham em conectar a biologia à física e à química, deixando passar a oportunidade de tratar de temas como o reducionismo ontológico.

Já o conceito de energia é muitas vezes tratado na biologia celular (onde se abordam processos como o ciclo de Krebs e a fotossíntese) e na ecologia (em pirâmides energéticas), mas perde destaque em meio a outros conceitos menos centrais (como os diversos nomes de enzimas) ou a procedimentos como cálculos de rendimento energético de diversos processos metabólicos. Com frequência se dá pouco destaque ao fato (básico e óbvio para qualquer biólogo experiente) de que sem energia a própria vida é impossibilitada, sendo que todas as atividades realizadas pelos organismos dependem de energia. Além disso, não se dá a devida importância ao fato de que atividades centrais realizadas pelos organismos têm por finalidade a obtenção de matéria e energia (como a alimentação e a fotossíntese) ou alocação desses recursos no espaço ou no tempo (como a separação entre as fases do ciclo de vida).

*Princípio 1.2: “A célula é a unidade fundamental da vida”*

Deste princípio, reconhecemos o conceito de **célula**, mas também o de **confinamento**<sup>16</sup>. A célula é comumente reconhecida como o limite entre a matéria viva e a matéria não viva, realizando em seu interior as reações químicas

---

<sup>16</sup> “*Boundedness*”, no original em inglês.

necessárias à manutenção da integridade física dos sistemas vivos. Entretanto, é preciso compreender que características a célula possui que lhe permitem este papel. Aqui, chamamos atenção para sua capacidade de confinamento, que permite manter a proximidade espacial entre seus componentes, bem como concentrar espacialmente a energia necessária a seu funcionamento (SCHEINER, 2010).

*Princípio 1.3: “A vida requer um sistema para armazenar, usar e transmitir informação”*

Neste princípio, o conceito de **informação** é central. A vida é entendida como complexidade ordenada que contém informação e, como tal, precisa capturar e usar essa informação (SCHEINER, 2010). Tradicionalmente se pensa na informação genética contida nas sequências nucleotídicas do DNA, mas também é possível pensar em informações epigenéticas e até mesmo em informações posicionais (como a posição de RNA mensageiro em um gameta, ou a posição de uma célula em um embrião que o sujeita a conjuntos específicos de moléculas sinalizadoras produzidas pelas células vizinhas). A visão informacional tem recebido críticas, inclusive de ser baseada apenas em metáforas, e não em teorias bem estabelecidas (GRIFFITHS, 2001; JABLONKA, 2002; EL-HANI, QUEIROZ & EMMECHE, 2009, PERRET & LONGO, 2016). Abordaremos uma dessas críticas mais adiante.

*Princípio 1.4: “Os sistemas vivos variam em sua composição e estrutura em todos os níveis”*

O conceito de **variação** é central neste princípio. Resumidamente, dizer que os sistemas vivos variam significa dizer que os representantes de uma mesma classe não são exatamente iguais entre si, sejam células de um mesmo organismo, ou organismos de uma mesma espécie, ou mesmo teias tróficas encontradas em ecossistemas comparáveis entre si. Este tipo de variação é ausente ou pelo menos desprezível nos sistemas que a física e a química estudam (todos os átomos de hidrogênio do universo, por exemplo, possuem um próton e um elétron, sendo



quimicamente iguais<sup>17</sup>), sendo uma característica distintiva dos sistemas biológicos. É a própria capacidade de gerar variações que dota os sistemas vivos de historicidade<sup>18</sup>. Uma visão de como surgem variações entre as células de um organismo multicelular é parte fundamental da teoria do grupo ORGANISM, como veremos mais adiante. O conceito de variação se aplica porque as células de um organismo multicelular, via de regra, descendem de uma única célula inicial, formando linhagens<sup>19</sup>.

*Princípio 1.5: “Os sistemas vivos consistem em conjuntos complexos de partes interagentes”*

Daqui, tiramos os conceitos de **complexidade** e **interação**. Sistemas vivos são feitos de muitos tipos diferentes de partes, arranjadas de maneiras complicadas e interagindo de muitas formas diferentes, com resultados não lineares (SCHEINER, 2010).

Uma definição simples de interação seria a de ação de uma entidade sobre outra, causando mudanças em seus estados. Grande parte do empreendimento científico consiste justamente em caracterizar interações, identificando as entidades envolvidas e suas relações espaciais e temporais, associando-as a determinados efeitos. Incorporar essa visão no ensino a partir da menção explícita a interações tornaria possível fazer os estudantes encararem novos problemas partindo do pressuposto de que as propriedades e capacidades observadas nos organismos são fruto da interação entre entidades materiais de maneira regrada no espaço e no tempo, e não surgem a partir “do nada” ou de maneiras místicas e insondáveis. O cheiro dos alimentos, por exemplo, não é fruto de uma ação à distância dos

---

<sup>17</sup> A existência de isótopos, como o deutério e o trítio, é basicamente irrelevante para a química, ainda que seja levada em conta pela física, por exemplo, enquanto componentes de água pesada, utilizada em usinas nucleares.

<sup>18</sup> Entretanto, segundo Caponi (2016), a variação é uma característica de linhagens de sistemas, e não de sistemas individuais.

<sup>19</sup> Entretanto, as linhagens de células somáticas se encerram no indivíduo do qual fazem parte, enquanto apenas a linhagem de células reprodutivas transcende ao indivíduo. De fato, é questionável se podemos equivaler conceitualmente linhagens de células em um organismo a linhagens de organismos. Talvez seja mais preciso analisá-las apenas enquanto componentes de um sistema e que, ao se apresentarem em diversas formas, contribuem para a complexidade do mesmo, como postulado no princípio 1.5 (ver CAPONI [2021]).

alimentos sobre nossa percepção, mas da interação entre moléculas voláteis por eles liberadas que viajaram através do espaço e encontraram receptores celulares em nossos sistemas olfativos.

O estudo sobre interações pode incluir temas como causa e efeito, explicações mecânicas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012) e não mecânicas<sup>20</sup>, padrões de interação (por exemplo, lineares e não lineares) e interações entre níveis hierárquicos.

*Princípio 1.6: “A complexidade dos sistemas vivos produz propriedades emergentes”*

A **emergência** pode ser vista como resultado da complexidade, tomando a forma de novidades qualitativas (não puramente quantitativas) que surgem em um nível hierárquico do sistema a partir da interação dos componentes em um nível hierárquico inferior<sup>21</sup>.

Apesar de ter destaque na visão organicista e em diversas áreas da biologia contemporânea, o conceito de emergência é geralmente apenas mencionado e brevemente explicado no ensino médio (por vezes acompanhado de exemplos como a homeostase), sendo deixado de lado em seguida. Desta forma, seu potencial estruturante é subaproveitado. Ao trabalhar as teorias do organismo, este conceito passa a ter maior destaque, sendo essencial não só para a compreensão de por que o reducionismo epistemológico não é sustentável, mas também para o entendimento de como diversas características e propriedades dos organismos vêm a existir.

*Princípio 1.7: “A complexidade dos sistemas vivos permite a ação de contingências”*

A **contingência** pode ser entendida basicamente como uma combinação entre aleatoriedade e sensibilidade às condições iniciais de um sistema (SCHEINER, 2010). Tem relevância para a compreensão de como surgem as variações, além do entendimento sobre como perturbações na forma de influências vindas do ambiente externo afetam o funcionamento dos seres vivos. O conceito de contingência tem

---

<sup>20</sup> Ver, por exemplo, Love e Nathan (2015) e Brigandt (2018).

<sup>21</sup> Para diversas visões sobre emergência, ver Humphreys (1997), Stephan (1998), Kim (2006), Bich (2012) e Arnellos e El-Hani (2018).

estado ausente no ensino básico, com as visões dos fenômenos biológicos sendo baseadas em ideias puramente deterministas em alguns casos e puramente casuísticas em outros.

*Princípio 1.8: “A persistência dos sistemas vivos requer que eles sejam capazes de mudar ao longo do tempo”*

Podemos entender a **mudança**, na biologia funcional, como a capacidade que sistemas biológicos possuem de alternar entre vários estados sem perder suas configurações, ou seja, mudando mas não deixando de ser eles mesmos. Essa ideia é melhor elaborada sob o conceito de identidade na teoria do grupo ORGANISM e será tratada mais adiante. Geralmente, mudança em uma parte do sistema cria estabilidade em outras (SCHEINER, 2010), muitas vezes em níveis hierárquicos diferentes.

*Princípio 1.9: “Os sistemas vivos surgem a partir de outros sistemas vivos”*

O conceito de **descendência** ganha relevância na teoria do organismo de duas formas: tanto para explicar a origem das células em um organismo multicelular, quanto para explicar como organismos são capazes de se reproduzir e quais características seus corpos e ciclos de vida possuem que possibilitam ou afetam sua reprodução.

*Princípio 1.10: “A vida se originou de matéria não viva.”*

Ainda que este princípio se refira explicitamente à origem última dos sistemas vivos, também diz algo sobre sua natureza mais essencial: todos eles são feitos da mesma coisa que a matéria não viva, incorporando na moldura conceitual da biologia o reducionismo ontológico. Podemos, provisoriamente, rotular esse conceito como **fisicalidade**.

A partir dos princípios 1.4 a 1.8, é possível se chegar a outro princípio estruturante, já mencionado: **homeostase**. Arp (2008, p. 262) define a homeostase como “a coordenação relativamente constante ou estável do funcionamento entre os componentes na hierarquia orgânica, dada a interação destes componentes com pressões ambientais internas e externas ao organismo”. Este é um dos conceitos mais importantes para compreender a persistência dos sistemas vivos, não só do organismo, mas também de sistemas pertencentes a outros níveis da hierarquia biológica, desde a célula aos sistemas ecológicos. Outros conceitos diretamente relacionados à homeostase também devem ser mencionados, como **resiliência** (que permite compreender como as condições internas de um sistema não são mantidas exatamente em valores ótimos, mas em torno deles por conta das constantes perturbações) e **regulação** (uma vez que processos regulatórios desempenham um papel importante em possibilitar a resiliência).

A partir dos princípios fundamentais listados acima, é possível entender como a teoria da biologia se conecta às outras teorias gerais. Os primeiros quatro princípios lidam com a estrutura e funcionamento internos dos organismos, servindo de base para conectar a teoria da biologia às teorias gerais da genética e da célula; os quatro princípios seguintes tratam da interação com o ambiente externo e conectam a teoria da biologia às teorias gerais da célula e da ecologia (porém, é importante notar, o foco dado em nossos comentários são as consequências destas interações para os próprios organismos, e não para as populações ou ecossistemas); os dois últimos lidam com as causas das propriedades dos organismos e ligam a teoria da biologia à teoria da evolução.

Observando agora a teoria geral dos organismos, que tem como domínio “Indivíduos e as causas de sua estrutura, função e variação”. O problema de como definir um organismo individual ainda é relevante na filosofia da biologia, mas não o discutiremos em profundidade aqui por acreditarmos que ele traz, no momento, complicações desnecessárias ao ensino médio. Porém, é necessário termos um entendimento, ainda que básico e limitado, do que se entende por indivíduo. Zamer e Scheiner (2014) abordam brevemente a questão, definindo indivíduos como

unidades biológicas cujas partes são estrutural e fisiologicamente dependentes entre si, mas independentes de outras unidades semelhantes. O problema está em definir exatamente os critérios que permitem delimitar as barreiras de tais unidades ou, para usar o termo mais comum, o “*self*”. Enquanto para organismos unicelulares é possível identificar o *self* a uma barreira física (a membrana celular), no caso dos organismos multicelulares essas duas coisas nem sempre são equivalentes. Casos problemáticos incluem espécies cujos organismos são capazes de reprodução assexuada e passam parte de seus ciclos de vida como seres unicelulares (como fungos e algas), cujos organismos formam colônias (como diversos cnidários, cupins e formigas) e cujos organismos vivem em simbiose com organismos da mesma ou de outra espécie (como líquens e corais).

Foquemos na teoria geral do organismo. Devemos ressaltar que ela é a única teoria geral proposta por Scheiner que vem acompanhada de uma subteoria geral, a dos organismos multicelulares, com seus próprios princípios fundamentais (princípios 2.11 a 2.16). Mas comecemos observando os princípios fundamentais que se aplicam a todos os tipos de organismo (princípios 2.1 a 2.10).

*Princípio 2.1: “Um organismo individual mantém ativamente sua integridade estrutural e funcional”*

Este princípio está diretamente relacionado ao conceito de **persistência**. Ele é central à teoria geral do organismo e todos os outros princípios o explicam ou exploram suas consequências (ZAMER & SCHEINER, 2014). Entre as abordagens já encontradas na literatura para explicar essa capacidade dos organismos estão a autopoiese (MATURANA & VARELA, 1973), que apela para a capacidade dos organismos de gerarem seus próprios componentes e condições internas necessárias para o próprio funcionamento; e abordagens embasadas na teoria da termodinâmica (e.g. HO, 1997; MORENO & MOSSIO, 2015), que apelam para a capacidade dos organismos de restringirem o fluxo de energia por seus componentes. A abordagem da autopoiese enfatiza a circularidade causal e o

fechamento operacional dos sistemas vivos e, junto com outros nomes do movimento da cibernética de segunda ordem, inspirou as teorias do organismo baseadas na termodinâmica (MORENO & MOSSIO, 2015), como a do grupo ORGANISM, da qual trataremos mais abaixo, e que enfatiza um duplo regime causal de abertura termodinâmica e fechamento organizacional.

Atualmente, no ensino, esta capacidade não é abordada de maneira estruturada, mas de maneira dispersa, reforçando a visão reducionista. Observa-se o funcionamento dos vários sistemas orgânicos em humanos e outros animais, por exemplo, como se suas ações fossem um fim em si mesmas. Ainda que se mencione que a função do sistema circulatório é transportar substâncias pelo corpo, a importância desta contribuição para o todo é eclipsada pela quantidade de conceitos que se referem às partes e que recebem muito mais atenção. Uma visão embasada na termodinâmica, por exemplo, não só explicitaria como o sistema circulatório emprega energia para realizar suas atividades, mas também como ele contribui para que outras partes do organismo recebam energia. É a segunda lei da termodinâmica que justifica a afirmação de que a integridade é mantida *ativamente*, como destaca Scheiner, pois é preciso que os organismos ajam contra a tendência geral de maximização da entropia para estocar e utilizar energia.

*Princípio 2.2: “Todos os organismos são compostos por células em algum ponto de seus ciclos de vida”*

Aqui, retornamos ao conceito de **célula**. Havendo uma teoria geral exclusiva para as células, há certa sobreposição entre esta teoria geral e a teoria geral dos organismos no que se refere a organismos unicelulares. Mas isso não quer dizer que a segunda seja redutível à primeira, uma vez que seus domínios são diferentes e diversos de seus princípios fundamentais abordam diferentes aspectos destes sistemas. Assim, cada teoria pode ser utilizada para orientar a pesquisa e o entendimento de diferentes aspectos de um organismo unicelular. O que mais nos interessa neste trabalho, entretanto, é a relevância que o conceito de célula possui

para a teoria geral do organismo no tocante aos organismos multicelulares, sendo elas as unidades que constituem seus corpos e que, variando em composição, lhes conferem complexidade (se articulando aos conceitos de variação, interação e complexidade mencionados abaixo).

*Princípio 2.3: “A manutenção de um nível do organismo requer mudanças dinâmicas”*

Aplicação do conceito de **mudança**. Um aspecto importante da mudança nos organismos é que elas acontecem entre níveis hierárquicos, sendo que mudanças em um nível hierárquico são necessárias para que mudanças ocorram em outro nível, superior (ZAMER & SCHEINER, 2014), ou até mesmo para que as condições se mantenham constantes neste segundo nível.

Esta relação entre níveis é explicitada apenas parcialmente no ensino médio. O foco recai sobre relações de composição (sistemas são feitos de órgãos, órgãos são feitos de tecidos, tecidos são feitos de células etc.), e, ao se falar em fisiologia, é comum que se foque na relação entre órgãos e sistemas de órgãos, havendo pouco destaque às relações entre outros níveis (inclusive entre sistemas de órgãos e organismo). Menos comum ainda é se abordar como mudanças em um nível geral estabilidade em outro.

Esse princípio também está relacionado ao conceito de homeostase.

*Princípio 2.4: “Há conflitos (trade-offs) entre as funções orgânicas”*

Nenhum organismo é capaz de realizar todas as suas atividades com eficiência total ao mesmo tempo. Obviamente, todas as atividades são limitadas, em última análise, pela quantidade de matéria e energia disponíveis, derivando dessa limitação os **trade-offs**<sup>22</sup>. As maneiras pelas quais os organismos compatibilizam essa limitação com suas funções são a compartimentação temporal de recursos, separando no

---

<sup>22</sup> Termo que, até onde sabemos, carece de uma tradução satisfatória para o português. A ideia de abrir mão de um ganho em favor de outro talvez seja aproximadamente expressa por termos como “troca”, “balanço” ou “compensação”.

tempo a realização das funções, ou a redução na eficiência de funções que operam ao mesmo tempo.

Um exemplo do primeiro caso é a separação entre períodos de crescimento e reprodução, sejam esses períodos alternados ao longo da vida do indivíduo ou divididos em dois momentos únicos, com a reprodução ocorrendo na fase final da vida (e às vezes seguida da morte imediata). Já no segundo caso, podemos citar como exemplo o *trade-off* encontrado nas plantas entre evitar a desidratação e realizar a fotossíntese, controlado pela abertura dos estômatos.

Há casos em que o conflito entre funções se dá não pela limitação de matéria e energia, mas pela necessidade de condições específicas, como o pH, por exemplo. Neste caso, a solução se dá pela compartimentação espacial: no caso do sistema digestório humano, o estômago mantém um pH ácido, estando separado do (ainda que conectado ao) intestino delgado, que forma um ambiente de pH básico.

Outro efeito da existência de *trade-offs* é a geração de variações fenotípicas derivadas da diferenciação de nichos, conectando a teoria geral de organismo com as teorias gerais da ecologia e da evolução (ZAMER & SCHEINER, 2014).

O conceito de *trade-off* se conecta diretamente ao conceito de **energia** e ao de **função** (que será tratado mais adiante). Ainda que a existência de *trade-offs* seja amplamente estudada e esteja presente em diversas teorias constituintes da teoria geral de organismo, menções a eles estão notavelmente ausentes no ensino médio de biologia (para uma exceção, ver Santos *et al.*, [2021]); sua inclusão permitiria não só tratar de seus efeitos evolutivos, mas obter uma compreensão mais profunda sobre ciclos de vida e sobre o funcionamento dos organismos.

*Princípio 2.5: “A manutenção do organismo ocorre em função de interações com os ambientes biótico e abiótico”*

Aplicação do conceito de **interação**. Para que interações ocorram, é necessário que os organismos sejam capazes de capturar informações do que ocorre à sua volta (o que é feito através do sistema sensorio-motor), além de reagir aos estímulos que



recebem. As interações ocorrem em vários momentos do ciclo de vida, podendo interferir na reprodução (um fungo que só libera esporos quando a temperatura e a humidade do ambiente são propícios, um animal macho que realiza comportamentos de corte ao avistar uma fêmea), no desenvolvimento (uma semente que só germina em condições específicas de luminosidade), na obtenção de alimentos ou outros recursos (um ser unicelular que se movimenta guiado por um gradiente de nutrientes, uma ave que disputa por lugares para nidificar) e na sobrevivência contra fatores externos desfavoráveis (uma ave que migra na época mais fria do ano, um animal que foge de seu predador).

Processos e padrões de percepção do ambiente, respostas a estímulos externos e outras formas de interação são estudados por áreas já estabelecidas da biologia, como comportamento animal, ecofisiologia, fisiologia sensorial etc (ZAMER & SCHEINER, 2014). Entretanto, há uma definição formal de interações apenas no que se refere a interações ecológicas (MARICATO & CALDEIRA, 2017), que também são as únicas estudadas explicitamente sob o rótulo de interação no ensino médio. Todas as outras formas de interação, ainda que estudadas, não o são de forma mais sistematizada e pensadas explicitamente como interações (além das interações ecológicas, só é comum a comparação entre os sentidos dos animais). A explicitação desse conceito permite orientar o pensamento de forma a deixar mais claro como as teorias gerais de organismo e da ecologia se articulam.

*Princípio 2.6: “Organismos necessitam de fontes externas de matéria e energia para sua manutenção, crescimento e reprodução”*

Aplicação do conceito de **energia**, aqui muito conectado aos princípios 2.1 e 2.3 (para manter as mudanças que possibilitam sua persistência, os organismos necessitam de energia), mas também aos princípios 2.4 e 2.5 (limitação de recursos no tempo e no espaço resultam em *trade-offs* que impactam padrões de reprodução) (ZAMER & SCHEINER, 2014).

A aquisição de energia já é abordada no ensino médio, sendo que quimiossíntese, fotossíntese e as várias formas de nutrição já são mencionadas (e até estudadas em detalhes). O único problema, como já mencionado, é o limitado destaque dado ao próprio conceito de energia.

*Princípio 2.7: “Porque os organismos são mutáveis, influências externas podem forçar sua mudança”*

Daqui, podemos destacar o conceito de **perturbação**. As perturbações podem levar a mudanças com as quais o organismo pode lidar sem que isso ponha em risco sua persistência, sendo esta a própria essência da já citada homeostase. Nos casos mais extremos, os organismos podem morrer por predação, estresse, trauma ou inanição. Esse princípio é uma consequência do princípio 2.5 mas também está ligado aos princípios 2.4 e 2.8.

Reflexões estruturadas sobre o tema deste princípio não estão comumente presentes no ensino médio, exceto quando se trata de ecologia (nos casos de morte por predação e estresse e eventual morte por parasitismo). A reação a perturbações também é mencionada ao se explicar os conceitos de homeostase e irritabilidade. Porém, quando o foco é o organismo, dificilmente são feitas reflexões mais profundas sobre como o ambiente externo força mudanças e como o ambiente interno reage a elas exceto na breve definição do que é homeostase.

*Princípio 2.8: “A heterogeneidade de recursos no espaço e no tempo leva à variação nos padrões de história de vida”*

Daqui, destacamos o conceito de **ciclo de vida**, que pode ser entendido como uma série de eventos e estágios nos quais o organismo acumula recursos e se prepara para a reprodução, se reproduz e então se recupera ou morre (ZAMER & SCHEINER, 2014). Este princípio é consequência dos princípios 2.4 e 2.6, uma vez que a reprodução é custosa em matéria e energia e esses recursos variam espacialmente e temporalmente. Este princípio também permite a conexão entre a

teoria geral de organismo e as teorias gerais da ecologia e da evolução, já que há ligações entre o ciclo de vida e as dinâmicas ecológicas e evolutivas das populações.

No que se refere ao organismo, a compreensão dos ciclos de vida permite compreender como certos *trade-offs* (alguns exemplos já foram citados acima) ocorrem e como isso interfere na persistência do indivíduo.

*Princípio 2.9: “A reprodução dos organismos é tanto uma causa quanto uma consequência dos processos evolutivos”*

O conceito de **reprodução** se liga ao conceito de **descendência**. A reprodução permite a persistência não do próprio indivíduo, mas de populações e de linhagens. O estudo das formas de reprodução é relevante para compreender o organismo em dois pontos: o primeiro é a influência no ciclo de vida, mencionado no princípio anterior; o segundo é sua conexão ao conceito de herança (alvo de estudo da teoria geral da genética), que permite compreender parte do como e do porquê cada organismo individual possui o fenótipo que possui. O conceito de reprodução também é importante para a compreensão da origem das células em um organismo multicelular.

Este conceito também tem implicações para teorias constituintes que conectam a teoria geral de organismo às teorias gerais da ecologia e da evolução, elencando os princípios 1.4 e 1.8.

*Princípio 2.10: “As propriedades dos organismos são resultado da evolução”*

Este princípio permite conectar a teoria geral do organismo à teoria geral da evolução. Para entender como a evolução ocorre, devemos recorrer a diversos princípios aqui presentes, mas também a princípios das teorias gerais da ecologia e (em muitos casos) da genética. Um aspecto importante da evolução é a interação dos organismos com o ambiente. Entretanto, devemos ter em mente que os efeitos desta interação se dão em duas ordens diferentes: efeitos imediatos para o próprio organismo (estudados pela biologia funcional) e efeitos para a linhagem ao qual o

organismo pertence (estudados pela biologia evolutiva). Ainda que o papel dos organismos na evolução venha sendo destacado na Síntese Estendida (ver, por exemplo, Laland e colaboradores [2011]), devemos ressaltar que os efeitos dessa agência se dão nas linhagens, não sendo então nosso alvo aqui.

O que nos interessa neste momento é o que o fato de um organismo pertencer a determinada linhagem nos permite afirmar sobre este organismo. Mais especificamente, estamos interessados aqui no conceito de **herança**, além do já citado conceito de **descendência**. Por exemplo, o fato de um mamífero pertencer a superclasse dos tetrápodes nos permite saber que ele possui quatro patas<sup>23</sup>. O foco neste aspecto é uma das bases da abordagem filogenética de ensino sobre a diversidade da vida.

*Princípio 2.11: “A multicelularidade permite a especialização de células”*

Quase todos os organismos multicelulares são compostos de mais de um tipo de célula e isso permite que muitos *trade-offs* sejam superados (ZAMER & SCHEINER, 2014): enquanto células de um tipo realizam uma atividade com maior eficiência, elas suprem uma necessidade do organismo, permitindo que as outras células se especializem em outras atividades.

Falar sobre **especialização celular** não é nenhuma novidade no ensino médio, sendo trivial tratar deste tema em termos da relação entre forma e função. Entretanto, não é comum que se estabeleçam conexões entre este conceito e o conceito de *trade-off*.

*Princípio 2.12: “Interações entre células são necessárias para a especialização celular”*

Obviamente, mais uma aplicação do conceito de **interação**, porém restringindo as entidades de interesse e especificando o nível hierárquico considerado (embora um nível inferior, o das moléculas, também seja levado em conta). A interação entre as

---

<sup>23</sup> Ou pelo menos supor que ele tem quatro patas e, caso a previsão não se confirme (como no caso das serpente e de diversos grupos de lagarto ápodas), podemos nos perguntar porquê.

células é o que estabelece o contexto espacial e temporal durante o desenvolvimento do organismo (que é o foco de outro princípio fundamental, tratado mais abaixo), podendo se dar através de conexões elétricas, forças físicas (como tensão e compressão) e sinalização química, afetando e sendo afetadas pela expressão gênica diferenciada (ZAMER & SCHEINER, 2014). Este princípio é tradicionalmente compreendido à luz da teoria da informação.

No ensino médio, a interação entre células é comumente estudada apenas no que diz respeito a junções entre células, inclusive sinapses. Menções à sua importância para a especialização estão usualmente ausentes, mesmo quando se trata da embriologia (em que o nível de análise adotado é o de grupos de células, até que se passe a falar dos estágios em que os órgãos se formam e estes passam a ser o foco).

*Princípio 2.13: “A especialização de células requer sua localização espacial e temporal em algum ponto do ciclo de vida”*

Além do conceito de **interação**, este princípio aplica também o conceito de **ciclo de vida**. Células especializadas podem existir em algum ponto específico do ciclo de vida (como células reprodutivas, por exemplo), sendo que sua formação pode ser influenciada por fatores ambientais (quando há uma abundância de recursos, por exemplo, ligando este princípio aos princípios 2.4 e 2.8); e em grande parte dos casos são espacialmente delimitadas, com a separação ou agregação de diferentes células ocorrendo ao longo do desenvolvimento (ZAMER & SCHEINER, 2014).

Considerações sobre este aspecto são bastante limitadas no ensino médio, se limitando à descrição dos estágios iniciais da embriogênese humana em muitos casos. Considerações sobre a associação entre produção de células reprodutivas e influências ambientais, comum em vários grupos taxonômicos, não é comumente explicitada (embora se diga que diversos seres só se reproduzem em condições propícias, não se explicita que as células reprodutivas não estão disponíveis o tempo todo). No caso da embriogênese humana, não se comenta, por exemplo, que

as células da linhagem germinativa se separam das células da linhagem somática nos estágios iniciais da formação do embrião, o que faz com que mutações ocorridas durante as sucessivas divisões celulares da linhagem somática não sejam herdáveis.

*Princípio 2.14: “A especialização de células permite a modularidade”*

A **modularidade** ocorre quando os componentes de uma parte específica do sistema interagem entre si de forma mais intensa do que com o resto do sistema. Por exemplo, do ponto de vista mecânico, os ossos e os músculos da mão humana interagem mais entre si do que com o resto do corpo. A modularidade ocorre em vários níveis de organização do organismo (por exemplo, as fibras cardíacas interagem mais intensamente entre si do que com as fibras dos músculos da coxa, por exemplo, os componentes internos de uma célula interagem mais intimamente entre si do que com outras células, e mesmo dentro da célula há módulos, como as organelas).

A modularidade permite uma maior especialização de estruturas, podendo promover vantagens seletivas, ajudando, inclusive na superação de *trade-offs*. A identificação de um módulo pode seguir diferentes critérios, a depender do contexto, teoria constitutiva ou modelo, desde a identificação de ramificações no desenvolvimento, à integração funcional ou genética (ZAMER & SCHEINER, 2014).

O conceito de módulo tem estado ausente do ensino médio. Ele ganhou importância no contexto das pesquisas em evolução do desenvolvimento, que se estruturaram principalmente a partir do fim da década de 1970 (HALL, 2012), e da Síntese Estendida, sistematizada a partir dos anos 2000, e ainda não foram incorporadas ao ensino médio. À medida que a biologia evolutiva do desenvolvimento ganhar proeminência no estudo de organismos multicelulares, é de se esperar que seja abordada também no ensino básico.

*Princípio 2.15: “A especialização de células gera propriedades emergentes no organismo”*

Este princípio é apenas a aplicação do conceito de **Emergência** já comentado acima, tendo um foco mais específico em consequência dos princípios 2.11 e 2.13.

*Princípio 2.16: “O desenvolvimento requer heterogeneidade na composição celular ou organísmica”*

Neste princípio, identificamos o conceito de **desenvolvimento**, que envolve processos que determinam o destino das células, a diferenciação celular e morfogênese (ZAMER & SCHEINER, 2014), gerando diversidade de partes que se influenciam mutuamente para compor estruturas em níveis superiores de descrição (como tecidos e órgãos) e dar forma ao organismo. É consequência dos princípios 2.11, 2.12, 2.13 e 2.15.

### **A teoria do organismo segundo o grupo ORGANISM**

A teoria do grupo ORGANISM busca compreender como os organismos exercem um papel de agência, sendo capazes de criar e alterar as normas que regem seu próprio funcionamento, compatibilizando plasticidade e robustez (ou, em outras palavras, o surgimento de novidades e a estabilidade de características já presentes), sendo atualmente composta de três princípios básicos (SOTO *et al.*, 2016a) que serão explorados abaixo.

É importante ressaltar que a teoria do grupo ORGANISM não tem a mesma estrutura que a moldura conceitual de Scheiner. Portanto, os princípios básicos da primeira não devem ser entendidos como construtos epistemológicos equivalentes aos princípios fundamentais desta última. Além disso, elas não tem como foco, em sua formulação, a explicitação didática de vários conceitos considerados mais básicos. Isso não deve ser visto como um problema, uma vez que as duas propostas foram construídas com diferentes objetivos. Scheiner busca justamente explicitar as

ideias mais básicas da biologia (muitas vezes tacitamente compartilhadas por grande parte da comunidade de estudiosos desta ciência) para promover discussões claras sobre a validade das mesmas (ao custo de ter sido criticado por não trazer novidades e até por dizer coisas óbvias [PIGLIUCCI, 2013]). Assim, Scheiner dá um passo atrás com o intuito de promover avanços de entendimento sobre os sistemas biológicos, numa tentativa de colocar em diálogo diferentes comunidades de pesquisa (não só pesquisadores em biologia empírica, mas também em biologia teórica e filósofos da biologia). Já o grupo ORGANISM busca avançar a pesquisa sobre organismos de forma imediata, filosófica e teoricamente, dialogando com uma comunidade de pesquisa mais restrita, que possui mais pressupostos compartilhados. Assim, as ideias que baseiam os princípios básicos da teoria deste grupo são muito mais avançadas e intrincadas, inclusive a articulação entre os princípios.

Para nossos objetivos, isso coloca algumas dificuldades, das quais destacamos duas. A primeira é que a complexidade da teoria do grupo ORGANISM é um obstáculo à sua 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. A segunda é o desafio de adequar essas ideias para torná-las apropriadas ao ensino médio, ou seja, para transpô-las didaticamente. Parte dessas dificuldades se devem ao fato de os três princípios não serem redutíveis uns aos outros: nenhum tem precedência lógica sobre o outro e não há um ponto de partida que facilite sua aprendizagem que seja facilmente identificável. Não vamos resolver aqui o problema da transposição, mas na seção seguinte trataremos algumas considerações iniciais que podem ser aprimoradas futuramente.

Uma das razões que levaram o grupo ORGANISM à busca de uma teoria do organismo foi o fracasso do projeto reducionista de explicar satisfatoriamente o câncer com grande foco em componentes celulares e na genética, um projeto que vem dominando a pesquisa biomédica por mais de 70 anos, mas que pode ser



considerado como pobre em teoria apesar de se utilizar de muitas metáforas (SOTO *et al.*, 2016a).

Nicholson (2014) sumariza alguns dos fundamentos do conceito de organismo, os quais também baseiam em grande parte a proposta do grupo ORGANISM, construído sobre duas relações organizacionais chaves: 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).

A relação entre parte e todo nos organismos pode ser mais bem compreendida em oposição a uma máquina. Os componentes de uma máquina são produzidos separadamente e previamente à existência dela (por trabalho manual ou por outra máquina, por exemplo) e possuem identidade própria (A mola que compõe um relógio funciona como uma mola antes e após compor o relógio e até mesmo se for retirada dele. Mais do que isso, se retirada do relógio e combinada a outros componentes em outro tipo de aparelho, a mola continuará sendo uma mola e atuando como tal). Já os organismos são entidades auto-organizadas, pois suas partes produzem umas às outras, respeitando a organização do todo (por exemplo, ribossomos produzem proteínas de acordo com o RNA mensageiro disponível no momento, utilizando os aminoácidos absorvidos ou produzidos pela própria célula, sendo que estas mesmas proteínas podem produzir outros componentes da célula) e só adquirindo identidade enquanto parte dentro de um sistema já integrado (um ribossomo fora da célula não funciona como ribossomo)<sup>24</sup>. Além disso, organismos estão constantemente decompondo e substituindo seus componentes (o ribossomo do nosso exemplo tem uma vida útil, da mesma forma como a célula à qual ele pertence sofrerá apoptose e será substituída por outra, caso pertença a um organismo multicelular). Ou seja, as partes estão constantemente mudando, sendo

---

<sup>24</sup> Uma pergunta óbvia surge aqui: como surge um novo organismo, se suas partes só funcionam como partes de um organismo quando já inseridas em um? A resposta também é óbvia: todo novo organismo surge a partir de outro, pré-existente. No caso da reprodução sexuada, cada gameta já possui uma organização própria que provê o contexto para que novos componentes sejam produzidas.

manifestações temporárias da unidade organizacional autoproduzida do todo, que muda continuamente, mas numa velocidade muito menor. Retornaremos a essa comparação entre organismos e máquinas mais abaixo.

Os organismos também 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<sup>25</sup>). 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. A teoria também dá destaque a propriedades distintivas dos sistemas vivos como agência (capacidade de iniciar a 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 (é o caso do fechamento de restrições, como veremos adiante). Entretanto, o grupo ORGANISM não explora a transição da matéria não-viva para a matéria viva, ancorando seus princípios no mundo biótico, assim como Darwin escolheu fazer ao falar da diversificação das espécies (SOTO *et al.*, 2016a). A física também é explorada em busca de

---

<sup>25</sup> Ver Longo e Montévil (2011).

perspectivas que possam ser aplicadas ou adaptadas com sucesso ao estudo dos organismos, ainda que não se assuma que a biologia tenha como objetivo seguir todos os passos da outra ciência.

Um desses pontos é o papel da matemática para as teorias. Enquanto para a biologia a matemática tem papel pouco proeminente na maioria das áreas e é principalmente aplicada a modelos, na física ela tem papel primordial nas teorias e orienta a forma de olhar para os objetos de pesquisa, além da maneira como os descrevemos.

Um aspecto crucial é a ideia de **simetrias teóricas**. Para entender este aspecto, devemos lembrar que estamos falando não só dos fenômenos que estudamos, mas também das descrições que fazemos destes fenômenos, como mencionado na introdução. Neste caso específico, é útil pensarmos em equações matemáticas como descrições de algo. Usemos como exemplo a equação do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV):  $v = v_0 + a.t$ , que permite prever a velocidade final de um corpo ( $v$ ) a partir de sua velocidade inicial ( $v_0$ ), a aceleração constante que ele sofreu ( $a$ ) e o tempo pelo qual ele foi acelerado ( $t$ ) (desconsiderando a resistência do ar).

Montévil e colaboradores (2016) explicitam como a matemática ajuda a física a descrever o mundo:

- Permite a manipulação de objetos genéricos, que são aqueles que são vistos da mesma forma por uma teoria (e geralmente obedecendo à mesma equação). No nosso exemplo, qualquer corpo (não importa a cor, forma, tamanho, se é vivo etc.) é tratado da mesma forma pela mecânica newtoniana e pode obedecer à equação de MRUV (e várias outras) e, portanto, são objetos genéricos.
- Objetos genéricos continuam a obedecer a mesma equação mesmo se forem de alguma maneira modificados. Por exemplo, se um corpo em queda livre se divide em duas partes em algum momento do percurso, ou muda de direção, ainda assim a equação que descreve a queda livre é válida para descrever e prever seu comportamento. De fato, mesmo que o valor da

aceleração seja alterado em algum momento, a equação ainda pode ser utilizada, já que seus elementos essenciais não são os valores específicos dos parâmetros elencados, mas as relações entre eles. Na linguagem da física, dizemos que as mudanças se restringem a mudanças de estado (no nosso exemplo, cada valor de aceleração que o corpo pode assumir é um estado diferente) sob um mesmo espaço de fase.

- Um objeto físico pode ser descrito em um espaço de fase, um espaço matemático abstrato construído com base nas várias quantidades necessárias para descrever o objeto (que, por serem definidas pela teoria, fazem com o que o espaço de fase possa ser construído antes mesmo da descrição do objeto, indicando quais variáveis devem ser medidas experimentalmente). O comportamento de um objeto pode ser descrito por uma trajetória no espaço de fase com base em equações e variáveis que representam as quantidades que descrevem o objeto. No nosso exemplo, o espaço de fase é composto por todos os valores possíveis que podem assumir a velocidade inicial de um corpo, bem como sua velocidade final, a aceleração que ele sofreu e o tempo ao longo do qual ele sofreu a aceleração.
- Uma vez que um grande número de objetos concretos pode ser descrito pela mesma moldura matemática, eles podem ser estudados como o mesmo objeto genérico e têm o mesmo comportamento. No nosso exemplo, todos os corpos que podem ser acelerados são tratados igualmente pela física newtoniana, sejam eles vivos ou não vivos, esféricos ou cúbicos etc.
- É relevante para a física a identificação de objetos não idênticos, ou seja, aqueles que não podem ser descritos pela mesma moldura matemática. Uma das maneiras de fazer isso é através da busca de simetrias, que são transformações que os objetos podem sofrer sem que isso altere a estrutura matemática utilizada para descrevê-lo. Biólogos estão acostumados com o conceito de simetria ao estudar, por exemplo, os cnidários, que possuem simetria radial. Girar um pólipó em torno de seu eixo dorso-ventral é uma

transformação que não modifica o fato de que qualquer linha que traçarmos passando pelo diâmetro desse eixo vai resultar em duas metades iguais. Já no exemplo do MRUV, dividir um corpo em duas ou mais partes (mesmo que de tamanhos diferentes) também não muda o fato de que a equação continuará sendo aplicável. Para não deixar dúvidas, o conceito de simetria aqui referido não se limita à simetria espacial que podemos perceber diretamente com os olhos em uma figura geométrica, mas se refere a consequências abstratas que resultam de ações concretas. Até mesmo as réplicas de um experimento guardam simetria entre si, uma vez que se espera que elas se comportem da mesma maneira em algum grau, ainda que as amostras utilizadas sejam materialmente diferentes entre si. A simetria é um conceito derivado da matemática.

- Ainda que uma transformação seja feita em um objeto genérico, sua trajetória não se altera. Além disso, ela é específica a esse tipo de objeto. Assim, a física se ocupa de estudar objetos genéricos de trajetórias específicas.

Montévil e colaboradores (2016) esclarecem que a física permite um entendimento ahistórico dos fenômenos que ela estuda (não importa o tipo de corpo, sua origem, os caminhos que ela percorreu ou as mudanças que sofreu ao longo de sua existência: ela continuará sujeita a se mover da forma como a equação de MRUV descreve), mas o mesmo não se aplica a biologia, que estuda fenômenos intrinsecamente históricos. Ainda assim, os autores esclarecem que, mesmo que não defendam o tratamento físico-matemático de todos fenômenos biológicos, abordagens e metodologias da física tem contribuições para a biologia. A conclusão a que eles chegam é que, com base nas ideias descritas acima, seria possível perceber que objetos biológicos, ao contrário dos físicos, seriam específicos e teriam trajetórias genéricas, não delimitadas pelo espaço de fase. Uma moldura parcialmente comum para a física e para biologia permite, por exemplo, uma forma coerente de explicar esta diferença, bem como suas consequências.

Um ponto chave seria a constatação de que, ao longo do tempo, os objetos biológicos se transformam de forma que aumentam as chances de que as simetrias teóricas mudem ao longo do tempo (como, por exemplo, o zigoto se transformando em um organismo adulto), tornando-os resultados de cascatas de mudanças em suas regularidades que os fazem ser variáveis e contextuais (ou seja, entidades históricas); assumir que as mudanças de simetria nos organismos são, em parte, resultados de suas próprias ações, e que essas ações são capazes de gerar regras, nos força a aceitar que os organismos também são capazes de mudar as próprias regras (SOTO *et al.* 2016a). Isso implica aceitar que os organismos possuem agência e normatividade.

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 todos os aspectos descritos nesta seção. Vamos a eles.

### 1. *O estado padrão biológico da proliferação celular com variação e motilidade*

Este princípio parte de uma visão da célula como unidade irreduzível de agência (SOTO *et al.*, 2016a), derivado da teoria da célula de Rudolf Virchow, que atualmente pode ser compreendida em três postulados: células são a unidade básica da vida; elas são originadas por células pré-existentes; e organismos são feitos de uma célula, ou de mais de uma célula e de matriz extracelular feita pelas células (SOTO *et al.*, 2016b).

O princípio é sistematizado em Soto e colaboradores (2016b) e se inspira no papel que o princípio de inércia<sup>26</sup> teve para a física. Os autores esclarecem que a expressão “estado padrão”<sup>27</sup> é uma metáfora extraída da ciência da computação e designa o estado das coisas quando nenhuma ação é tomada<sup>28</sup>, sendo útil para uma teoria do organismo (e para outras teorias) por permitir delimitar o que precisa ser

---

<sup>26</sup> Que basicamente afirma que se nenhuma força for aplicada sobre um corpo ele conserva certas propriedades. Popularmente se pensa no estado de movimento, seja ele o repouso ou o movimento retilíneo uniforme.

<sup>27</sup> “*Default state*”, no original em inglês.

<sup>28</sup> Como a configuração de um aplicativo recém-instalado em um dispositivo, antes que o usuário a modifique.

explicado (casos que diferem do estado padrão) e o que não precisa (casos que não diferem do estado padrão). Para compreender o estado padrão, devemos 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.

A proliferação irrestrita é encontrada atualmente em organismos procarióticos e eucarióticos unicelulares. Já em organismos multicelulares o princípio pode ser observado experimentalmente, como, por exemplo em células de glândulas mamárias, que retomam a proliferação assim que removidas do organismo; a quiescência destas células no organismo precisa ser explicada, o que é feito apelando-se para a ação de restrições que impedem sua replicação até que estas restrições sejam relaxadas de alguma forma (neste caso, a presença de estrogênio neutraliza o inibidor de divisão celular presente no soro sanguíneo) (SONNENSCHNEIN *et al.*, 1996).

Já a variação surge de diversas formas, incluindo divisão desigual de macromoléculas e organelas após a divisão da célula, mutações, aneuploidia; e durante a morfogênese, através de iterações não-idênticas (um exemplo de como a variação também pode ser gerada num nível supracelular de organização). Como as duas células filha não são iguais, cada divisão celular representa uma mudança de simetria teórica que deve ser levada em conta na descrição dos novos indivíduos (no caso de organismos unicelulares) ou do mesmo indivíduo, agora em um momento temporal mais avançado em sua vida (no caso de organismos multicelulares).

Quanto à motilidade, ela envolve não só locomoção, mas também movimentos não aleatórios intracelulares (como transporte de organelas mediado por actina e miosina em células animais), celulares, tissulares e ao nível de organismo (como as folhas e flores de uma planta, que podem se abrir e fechar estimuladas pela luz). A motilidade em resposta a estímulos ambientais, buscando condições mais favoráveis

à sobrevivência, também é uma expressão da agência do organismo, que o faz como reflexo de sua capacidade de criar ou influenciar as normas que regem sua interação com o ambiente.

Um aspecto importante da visão do grupo ORGANISM que começa a ser delineado neste princípio é uma postura radical quanto à materialidade dos sistemas vivos, não permitindo a separação entre os materiais que os compõem das atividades que estes organismos realizam. Neste ponto, deve-se levar em conta não apenas uma rejeição a forças vitais ou outras entidades não-físicas (que é lugar comum na biologia atual) nas explicações sobre organismos, mas também uma rejeição à ideia de programa e informação dominantes na biologia atual (SOTO *et al.*, 2016b), ponto do qual trataremos mais abaixo.

## *2. Organização como fechamento de restrições*

Uma visão geral deste princípio é apresentada em Mossio e colaboradores (2016) e permite estabelecer as bases do que seriam as ferramentas conceituais necessárias para a compreensão da ontogenia (ainda que este princípio e o da variação possam ser aplicados a outros sistemas biológicos, como os sistemas ecológicos). O princípio da organização está intimamente relacionado ao princípio da variação, pois a variação biológica relevante é aquela que afeta sistemas organizados e suas partes. Já a organização favorece a propagação de variações, uma vez que as mudanças por essas geradas podem ser mantidas por conta da dependência mútua entre as partes do sistema, como será tratado mais adiante. Além disso, a variação é necessária para a manutenção dos organismos tanto durante sua ontogenia, quanto durante a filogenia (permitindo o surgimento de adaptações e inovações funcionais). A dependência entre organização e variação é sintetizada na seguinte frase: “A organização biológica não exibiria sua atual complexidade nem duraria, a menos que variasse tanto durante a filogenia quanto



durante a ontogênese”<sup>29</sup> (MOSSIO, MONTÉVIL & LONGO, 2016, p. 26, tradução nossa)

É o princípio da organização que captura alguns aspectos já mencionados como centrais na teoria de organismos: é ele que aborda 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 dependem de sua relação umas com as outras. Uma consequência deste princípio é fazer com que os genes deixem de ser vistos como causas da complexidade e função biológica (como vimos na segunda seção) e passem a ser vistos simplesmente como constituintes da organização, servindo como moldes para a síntese de macromoléculas funcionais. A importância dos genes não deixa de existir, mas é reduzida: sua expressão não determina a organização; pelo contrário, pressupõe que o sistema já é organizado. Assim, o princípio escapa ao reducionismo, dando destaque aos outros níveis dos sistemas biológico sem que, no entanto, se estabeleça um nível de análise privilegiado.

Para começar a compreender este princípio, podemos partir da definição exata de **organização**<sup>30</sup> no âmbito da teoria de organismos (do grupo ORGANISM) e então entender cada aspecto dela: um sistema biológico é organizado se “alguns de seus constituintes que agem como **restrições** realizam um regime de dependência mútua entre si, o qual denominamos ‘**fechamento**’”<sup>31</sup> (MOSSIO, MONTÉVIL & LONGO, 2016, p. 28, tradução nossa.).

Começando pela definição de restrição, é importante diferenciá-la de processos. Os processos são todos os tipos de atividades (incluindo reações químicas) realizadas em um organismo 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

<sup>29</sup> No original: “*Biological organization would neither display its current complexity, nor would it last, unless it varied, both during phylogenesis and ontogenesis.*”

<sup>30</sup> É importante notar que a definição de organização leva em conta o aspecto dinâmico dos organismos e das interações entre suas partes, diferente da concepção vernacular do termo, que se associa principalmente às ideias de ordem e de disposição espacial de objetos.

<sup>31</sup> No original: “[...] *some of its constituents acting as constraints realize a regime of mutual dependence between them, which we label ‘closure’.*”

necessário que o organismo seja termodinamicamente aberto: uma vez que eles ocorrem continuamente, a entrada de energia (e 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<sup>32</sup>, determinando o comportamento do sistema. Porém, ainda que essas entidades influenciem transformações, elas mesmas não são transformadas em função da própria atividade, demonstrando uma simetria em relação aos processos que realizam<sup>33</sup>. O sistema vascular não é alterado pelo fluxo sanguíneo que ele canaliza, e enzimas não são consumidas nas reações que elas catalisam, por exemplo. No caso da enzima, pode-se argumentar que sua estrutura espacial pode ser alterada durante a catálise, sendo ela transformada pela própria atividade. Porém, uma vez que a alteração se reverte assim que o produto da catálise é liberado, podemos afirmar que a simetria é mantida.

O papel limitador não deve ser visto apenas como desabilitador (evitando que certos eventos ocorram), mas também como habilitador: por exemplo, uma enzima reduz os graus de liberdade com que uma reação ocorre ao fazer com que aumentem as chances de que ela ocorra mais rápido, e reduz as chances de que ela ocorra mais devagar (MORENO & MOSSIO, 2015). Sem uma enzima, uma reação poderia, inclusive, ocorrer espontaneamente em uma escala de tempo maior que o tempo de vida de um organismo, perdendo sua função.

Em uma análise inicial, as restrições não estariam sujeitas ao fluxo termodinâmico. Porém, a dimensão temporal deve ser levada em conta. Enzimas se degradam com o tempo, devendo ser substituídas. O mesmo ocorre com todas as restrições, que podem também passar por reparos (como as paredes dos vasos sanguíneos). Assim, é possível afirmar que uma restrição se mantém apenas na

---

<sup>32</sup> Podemos entender graus de liberdade, neste contexto, como o número de estados possíveis que um sistema pode assumir e o espectro de valores que podem assumir os parâmetros necessários para descrever o sistema (como, por exemplo, a velocidade com que uma enzima catalisa uma reação).

<sup>33</sup> As restrições podem ser exercidas por campos e forças físicas externas aos organismos (como a gravidade, por exemplo), mas aqui nos restringiremos a exemplos de restrições exercidas por componentes materiais dentro do organismo, por questões didáticas.

escala temporal relevante para o processo que ela restringe. Em escalas temporais maiores ou menores as simetrias podem ser quebradas (como no caso da mudança de conformação espacial da enzima), embora este fato possa ser ignorado sem prejuízos, nesta moldura teórica. É importante ressaltar que uma restrição só pode ser caracterizada enquanto tal em referência a um processo específico e uma escala temporal específica, sendo dependente de contexto.

A degradação de uma restrição faz com que sua manutenção seja dependente de uma outra restrição, que opera em uma escala temporal diferente. No caso das enzimas, sua reposição depende da transformação de aminoácidos, mediada por uma fita de RNA mensageiro. Ainda que não seja o RNA mensageiro que de fato vai efetuar as ligações peptídicas entre os aminoácidos (o que é papel do ribossomo), ele age como restrição na condição de molde, reduzindo o grau de liberdade das possíveis sequências em que os aminoácidos serão combinados<sup>34</sup>. Por sua vez, o RNA se degrada em uma escala de tempo maior do que aquela em que ocorre a síntese proteica e sua produção dependerá do papel do DNA enquanto restrição (também na condição de molde) na transformação de nucleotídeos.

Para que o DNA seja sintetizado, porém, é necessária a atuação de enzimas, que restringem a velocidade com que se dão as reações entre os nucleotídeos. Ou seja, a síntese de DNA depende de uma restrição (enzima) que é produto de uma outra restrição (RNA mensageiro) sobre a qual o próprio DNA age enquanto restrição, gerando uma *codependência* entre restrições. A esta forma de codependência se denomina fechamento de restrições, e é às restrições e à relação de codependência que elas estabelecem entre si que se refere o termo “organização” nesta moldura teórica. A organização pode ser entendida como *autodeterminada*, pois ela mesma determina as condições de existência das restrições sujeitas ao fechamento que a compõem. Um aspecto importante dessa codependência é que ela implica que cada restrição que faz parte do fechamento cumpre dois requisitos: ela é *dependente* de pelo menos uma outra restrição que

---

<sup>34</sup> O foco no RNA (bem como no DNA, logo depois), aqui, se justifica pelos seus fins didáticos, sendo possível modelar o processo de síntese proteica em maior complexidade para outros objetivos.

compõe o fechamento ao mesmo tempo em que *possibilita* a existência de pelo menos uma outra restrição.

Uma característica dos sistemas biológicos é o fato de que sua organização consiste em cadeias de dependência que tomam a forma de redes complexas, com frequência envolvendo restrições presentes em vários níveis hierárquicos. No exemplo das enzimas, foram citadas apenas restrições encontradas no interior da célula. Porém, se tomarmos um animal vertebrado, por exemplo, podemos perceber facilmente que há uma dependência de restrições exercidas por órgãos e tecidos: a chegada de nutrientes à célula (como aminoácidos e nucleotídeos, ou seus precursores) depende do fluxo sanguíneo restringido pelo sistema vascular. A própria manutenção do sistema vascular vai depender, entre várias atividades, da ação de enzimas que digerem o alimento, no sistema digestório, e disponibilizam nutrientes que serão utilizados no reparo do coração e dos vasos sanguíneos.

Três implicações podem ser derivadas deste princípio. A primeira é uma definição precisa do conceito de **função**, que passa a ser entendida como papel causal que uma estrutura exerce enquanto restrição sujeita a fechamento (em dada escala temporal e contexto) e que contribui para a manutenção do organismo. Esta definição escapa às críticas feitas a outras abordagens de função na biologia<sup>35</sup>, tornando possível associar ao conceito de função um aspecto de *normatividade* (o que uma estrutura deve necessariamente fazer para que lhe seja atribuída uma função) e um aspecto de *teleologia* (explicações que justificam a existência de uma estrutura apelando para a consequência de sua existência; nesta abordagem, a consequência que interessa é a contribuição para a automanutenção do sistema) (MORENO & MOSSIO, 2015).

A segunda implicação é que o fechamento deve ser diferenciado de independência, uma vez que os organismos são termodinamicamente abertos e, portanto, dependentes do ambiente para que haja entrada de energia. O fechamento só se realiza em relação a um conjunto específico de condições que estabelecem as fronteiras do sistema (e que sempre devemos explicitar ao descrever o sistema de

---

<sup>35</sup> Para uma discussão sobre as duas abordagens principais, ver Nunes-Neto e El-Hani (2009).

interesse), sendo que estas condições incluem restrições externas ao organismo (e independentes) mas que ainda assim agem sobre ele. Assim, o fechamento não inclui todas as restrições que interagem causalmente com o organismo, mas apenas as que satisfazem o critério de codependência (as primeiras são denominadas não constitutivas, enquanto as segundas são denominadas constitutivas).

A terceira implicação é que o fechamento é um aspecto do organismo que se conserva ao longo de sua vida. Ainda que um organismo mude (por conta do desenvolvimento ou de influências externas, de formas que possam fazê-lo perder ou ganhar restrições constitutivas), essas mudanças devem gerar uma rede de dependências que preservem o fechamento, sob risco da morte do indivíduo<sup>36</sup>.

A realização da organização envolve a conservação de aspectos biológicos relevantes, associados com a manutenção e reestabelecimento de simetrias teóricas locais e globais. Localmente, as simetrias são conservadas pela restrição que controla um determinado processo. Já globalmente, uma restrição constitutiva tem sua existência estendida para além de sua escala de tempo característica, pois está continuamente reestabelecendo sua dependência mútua com outras com as quais realiza fechamento. Assim, caso uma restrição apresente alguma variação, há grandes chances de ela ser removida e regenerada, mas em sua forma original. No exemplo das enzimas, caso haja um erro de tradução que torne uma enzima defeituosa, isso não prejudica a célula, pois o RNA mensageiro ainda é capaz de determinar a estrutura primária de outro exemplar desta mesma enzima. Supõe-se, neste caso, que o RNA mensageiro não foi afetado pela variação que ele próprio removerá. É desta forma que a organização possibilita a estabilidade biológica no tempo de vida de um organismo. Ela se automantém, removendo variações potencialmente deletérias.

Porém, há casos em que o fechamento de restrições pode ser ameaçado por uma variação de tal forma que as restrições comuns não são capazes de restaurá-lo. Nestes casos, entra em ação um segundo conjunto de restrições consideradas regulatórias e que não estão sujeitas ao fechamento de restrições constitutivas em

---

situações normais (MORENO & MOSSIO, 2015). Quando o organismo sofre uma perturbação (gerada no meio interno ou externo), as restrições regulatórias modulam ou até mesmo modificam a organização das restrições constitutivas, fazendo com que a atividade do sistema restaure as próprias condições de existência. Como as restrições regulatórias são tanto dependentes do conjunto de restrições constitutivas quanto possibilitadoras da manutenção do fechamento constitutivo, há um outro tipo de fechamento organizacional: o conjunto de restrições regulatórias realiza um fechamento com o conjunto de restrições constitutivas. É necessário, assim, distinguir o fechamento realizado exclusivamente pelas restrições constitutivas (fechamento de primeira ordem) do fechamento que inclui o conjunto das restrições regulatórias (fechamento de segunda ordem). É a existência de **regulação** que permite que um organismo não só estabeleça internamente as normas de seu próprio funcionamento, mas também as modifique.

Devemos também levar em conta que há casos em que uma variação pode afetar toda a organização de forma positiva, levando a uma nova configuração estável (uma mutação que resulte em uma enzima mais eficiente, por exemplo), caso em que a variação será mantida. Variações podem também levar a inovações funcionais, contribuindo para o aumento da complexidade biológica, principalmente de forma cumulativa ao longo de gerações. Por conta desta relação com as variações, há uma tensão conceitual entre estabilidade e variação e o aspecto da estabilidade é fundamental a este princípio básico, sendo o aspecto da variação o foco do terceiro princípio básico, descrito abaixo.

### *3. A variação faz os organismos serem objetos específicos*

Sistematizado em Montévil e colaboradores (2016), princípio básico da variação é essencial para a compreensão de como os organismos são capazes de mudar continuamente, sendo as variações responsáveis pela historicidade dos sistemas biológicos. Uma característica própria dos sistemas vivos é que, independentemente da moldura matemática utilizada para descrevê-los, não é possível prever todas as variações, sempre havendo a possibilidade de surgirem muitas exceções às regras.

Nesse sentido, uma abordagem teórica que permita uma visão unificada das mudanças pelas quais os organismos passam tanto em sua ontogenia quanto em sua filogenia evita que o estudo das variações se torne um simples catálogo de exceções.

O estado padrão da célula é o gerador primário de variação, como mencionamos anteriormente. A cada divisão celular, as simetrias locais são modificadas, já que cada divisão leva a novas correlações locais e globais entre restrições (SOTO *et al.*, 2016b) Porém, o princípio da variação está mais intimamente relacionado ao da organização: enquanto a organização é condição para a variação, a variação é necessária para a geração de inovações funcionais, contribuindo para a manutenção da organização ao longo da escala de tempo filogenética. Assim, as variações relevantes para o organismo são aquelas que ocorrem na organização, e não em outros aspectos (mudanças quantitativas em uma restrição específica, por exemplo). Essas variações podem ocorrer em todos os níveis de organização (sendo que todos são importantes e nenhum é considerado pela teoria como merecedor primário de análise) e em todas as escalas de tempo (ontogenética e filogenética).

Ainda que as mudanças na organização possam ser quantitativas (uma enzima que se torna mais eficiente, por exemplo), são as mudanças qualitativas que mais nos interessam, pois levam a mudanças de simetria. 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, podendo ser na forma como as funções atuam, mas também a perda ou o ganho de funções (podendo envolver inclusive mudança, perdas ou ganhos de estruturas). Para entender como isso ocorre, devemos ter em mente que o organismo não cumpre um programa escrito em seu DNA ao longo do desenvolvimento e que o determina, mas que cada novo indivíduo reconstrói a organização a partir de seu nascimento, permitindo que as restrições sejam modificadas cada vez que são realizadas (o que Longo e colaboradores [2015] denominam “iterações não-idênticas de processos morfogenéticos”).

É por este motivo que os organismos não devem ser considerados como objetos genéricos, e sim como objetos específicos: cada novo indivíduo pode passar por transformações qualitativas aleatórias (no sentido de não serem previsíveis pela teoria) que modificam suas simetrias (ou até mesmo o espaço de fase, o que é um tipo de aleatoriedade específico dos sistemas biológicos) 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.

Ainda que muitas mudanças na organização sejam específicas, restrições podem fazer com que algumas delas ocorram de maneira genérica (em algum grau). No caso da morfogênese, por exemplo, ainda que velocidades de reações e de difusão de moléculas permaneçam constantes, elas podem levar a quebras de simetria pois processos morfogenéticos são sensíveis à dinâmica não linear das condições iniciais (pequenas variações nas concentrações iniciais, por exemplo, levam a diferentes resultados). Entender isso é importante, pois, ao se criar um modelo da organização de um organismo, é preciso reconhecer que mudanças se devem a especificidades de um indivíduo (ou linhagem) e que se refere a uma mudança genérica.

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 resultado de 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 estabilizadas, e não como uma simples conservação de uma configuração já estável.

Mudanças na organização podem ocorrer na forma de modificações de uma restrição de forma localizada, quebrando simetrias, mas sendo estabilizada por restrições já existentes (um vaso sanguíneo que se ramifica, por exemplo); podem se dar na forma de recombinações entre restrições pré-existentes para formar uma nova estrutura, levando a mudanças menos localizadas e à atuação de uma ou mais restrições em processos que elas não restringiam anteriormente (como nas exaptações); e podem acontecer com o surgimento de uma nova restrição, que deve ser integrada à rede de codependência já estabelecida. Em todos os casos, a modificação ocorre em uma escala de tempo curta, mas são estabilizadas em escalas de tempo mais longas. Porém, é possível que a modificação seja revertida por outra restrição (como já mencionamos antes) ou até mesmo que leve à desestabilização da organização, causando a morte do organismo (como é o caso dos vários tipos de câncer).

### **Como começar a pensar um currículo sobre organismos**

Na literatura é possível encontrar poucos trabalhos sobre o impacto do conceito de organismo para currículos, sendo que os poucos disponíveis tratam do ensino superior. Hoese e Nowicki (2001) relatam uma atividade numa disciplina de introdução à biologia tendo organismos como foco conceitual e justificam a escolha com base em duas razões: os organismos são tangíveis e todos os estudantes já possuem alguma noção sobre eles, mesmo que intuitiva; e eles são um importante nível da hierarquia biológica, sendo alvos da seleção natural e sendo o contexto que permitiria o estudo de processos que são frutos de adaptações, inclusive nos níveis molecular e ecológico.

Já Meglhoratti e colaboradoras (2008) relatam a experiência de ensinar a graduandos uma moldura para a compreensão de fenômenos biológicos baseada numa abordagem hierárquica em três níveis (SALTHER, 1985; EL-HANI, 2002), tendo

o organismo como nível focal (aquele em que os fenômenos de interesse ocorrem), o ambiente externo, na forma de níveis hierárquicos ecológicos, como nível superior (que restringe o sistema de interesse) e o ambiente interno, na forma dos níveis molecular e/ou celular, como nível inferior (que gera as condições apresentadas no sistema). O organismo foi escolhido como ponto focal da hierarquia por ser considerado um dos conceitos integradores do conhecimento biológico. As autoras relatam que a experiência permitiu que os estudantes (no contexto de um grupo de estudos e de pesquisa, ao longo de um ano), deixassem de buscar explicações exclusivamente no nível do DNA para explicar fenômenos orgânicos, passando a incorporar também os outros níveis hierárquicos em seus modos de pensar<sup>37</sup>.

Entre os documentos curriculares, é possível encontrar recomendações sobre conceitos e ideias que são relevantes para o estudo dos organismos, como a relação entre forma e função, organização (no sentido amplo e popular do termo) e níveis hierárquicos dos organismos, e sistema, tanto para o ensino básico (COLLEGE BOARD, 2009; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996, 2012, 2013; BRASIL, 2000), quanto para o ensino superior (AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE, 2011; BROWNE *et al.*, 2014). Já a BNCC (BRASIL, 2020) menciona apenas a ideia de níveis hierárquicos. Entretanto, em geral, os documentos aqui citados adotam uma visão reducionista em que todo o papel de agência dentro do organismo é atribuído ao nível celular, quando não a componentes genéticos, dando papel secundário ao organismo como um todo.

Entre outros trabalhos que reconhecem o papel central do organismo e que trazem implicações para o currículo do ensino médio, podemos citar MacMahon e colaboradores (1978), que propõem uma modelagem de níveis hierárquicos dos sistemas biológicos centrada nos organismos, ressaltando o valor heurístico que ela pode ter. Na visão destes autores, os organismos são o ponto de encontro entre

---

<sup>37</sup> O pensamento que integra diversos níveis hierárquicos é reconhecidamente um problema para estudantes, tanto no nível básico quanto no nível superior. Ver, por exemplo, Freidenreich e colaboradoras (2011) e Nehm e Ha (2011). Um ensino que trabalhe melhor a integração entre níveis hierárquicos traria, em nossa opinião, contribuições importantes para o entendimento dos seres vivos em todos os níveis de escolaridade.

quatro tipos de relações<sup>38</sup>: 1 - fisiológico-anatômica, envolvendo os níveis de partículas subatômicas ao organismo; 2 - filogenética, levando em conta as relações de parentesco, envolvendo os níveis de espécie a reino; 3 - coevolutiva, considerando relações entre organismos que afetam o sucesso reprodutivo, envolvendo os níveis de deme, população e comunidade; 4 - troca de matéria e energia, envolvendo os níveis de ecossistema e biosfera. Esta mesma proposta foi utilizada por Meglhioratti e colaboradoras (2008).

O próprio Scheiner (2010) reafirma a centralidade do organismo ao ressaltar que das cinco teorias gerais da biologia, apenas a teoria geral da célula não tem o organismo em seu escopo. Indo além, ele argumenta que um dos motivos pelos quais a teoria da evolução tem recebido grande destaque no pensamento biológico (sintetizado na famosa declaração de Dobzhansky de que nada faz sentido na biologia, exceto à luz da evolução) foi sua sistematização precoce e sua condição, por muito tempo, de única teoria biológica reconhecida. Porém, ao sistematizar outras teorias, ficaria claro, para Scheiner, que na verdade a evolução só faz sentido à luz do restante da biologia do organismo.

Admitindo o papel central do organismo no pensamento biológico, é possível perceber como 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, conectando as teorias gerais de Scheiner. Porém, como argumentamos em estudos anteriores (CARVALHO *et al.*, 2011, 2020), tendo em vista a natureza dual da biologia, a biologia evolutiva também deve ser levada em conta na estruturação do currículo. Assim, a recomendação já presente em vários documentos curriculares de que a teoria evolutiva deve constituir um eixo integrador do currículo deve ser complementada, a nosso ver, pela adoção também da teoria do organismo como integradora da biologia funcional (além de suas contribuições para o estudo da evolução, ainda que não tratemos delas em profundidade aqui).

---

<sup>38</sup> Os próprios autores admitem que os níveis incluídos em cada tipo de relação não são definitivos e outros níveis podem ser incluídos. Pickett e colaboradores (2007), por exemplo, incluem biomas entre os níveis de ecossistema e biosfera.

Construir um currículo centrado no organismo é uma tarefa ambiciosa e complexa e que não será levada a cabo aqui. Nosso foco neste trabalho é mostrar como um currículo pode ser pensado para trabalhar o organismo tendo como objetivo inicial substituir a abordagem tradicional no ensino sobre grupos taxonômicos e partes do corpo, introduzindo a teoria do organismo no ensino médio. Uma ampliação dessas ideias para permitir que o ensino sobre genética, célula e ecologia seja realizado em função do organismo e da evolução (contemplando igualmente a biologia funcional e a biologia evolutiva) é tarefa para o futuro. Esperamos aqui estabelecer um núcleo duro de ideias com base na teoria de organismos que possa servir como um marco inicial para a futura expansão.

Sugerimos aqui uma possível maneira de organizar os conceitos elencados nas seções anteriores de forma que possa orientar a construção de objetivos de aprendizagem e desenvolvimentos posteriores. Estratégias didáticas não serão o foco, mas faremos alguns comentários acerca das questões mais pertinentes que surgem ao pensarmos no assunto. Articularemos os níveis da teoria da biologia e da teoria geral do organismo de Scheiner, além da teoria do grupo ORGANISM, ressaltando os conceitos destas teorias com maior potencial estruturante para a compreensão da teoria do organismo. Defendemos que, no ensino, o nível das teorias constituintes (abaixo do nível das teorias gerais) também deve ser articulado, principalmente para se pensar estratégias didáticas, mas, uma vez que nossa proposta ainda está em estágios iniciais, este nível não será tratado aqui.

Submetemos, então, que, ao tratar dos organismos no ensino médio, haveria pelo menos quatro pontos principais, descritos abaixo em termos de que propriedades e capacidades dos organismos deveriam ser trabalhadas neste nível de ensino. Para cada tópico, 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 e tecemos alguns comentários sobre como eles podem ser articulados entre si. Seguindo a nossa proposta delineada em Carvalho e colaboradores (2020), priorizamos o ensino de descritores e processos, reduzindo o foco sobre componentes sistêmicos. Por *componentes sistêmicos* entendemos

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 (SALTHER, 1985), além da escala espacial e do nível hierárquico. Um componente pode ser tangível ou não, o que também permite, por exemplo, que interpretemos um processo como um componente sistêmico que contribui para um processo descrito em um nível hierárquico e, muitas vezes, em uma escala espacial e/ou temporal superiores. Quanto aos *processos*, eles podem ser vistos como [...] um conjunto coordenado de mudanças na aparência<sup>39</sup> da realidade, uma família organizada de ocorrências que são sistematicamente ligadas umas às outras, seja causal ou funcionalmente” (RESCHER, 1996, p. 38). Por fim, os *descritores* são conceitos que aludem a características, funções, propriedades, categorias ou padrões necessários para a descrição e compreensão dos sistemas vivos. Em cada tópico, explicitamos a qual destas categorias pertence cada conceito estruturante.

*Tópico 1 - Os organismos não são feitos de nada além de entidades físicas, mas sua organização é o que os diferencia da matéria sem vida, e esta organização envolve a interação entre diferentes níveis hierárquicos.*

Para este tópico, um dos conceitos estruturantes mais importantes é o de **organização** (um descritor, já que se refere a uma propriedade dos organismos). Para a compreensão da organização como uma configuração de fechamento de restrições, obviamente, é necessário a compreensão do conceito de **restrição** (que de forma genérica pode ser vista como um descritor, mas também pode ser entendida como um componente de uma organização) e sua diferenciação de um **processo** (um descritor), sendo necessário também a compreensão dos conceitos de **energia** (que pode, sob certas circunstâncias, ser entendida como um componente sistêmico<sup>40</sup>) e **equilíbrio termodinâmico** (um descritor). O conceito de

<sup>39</sup> “*Complexion*”, no original em inglês.

<sup>40</sup> A depender da concepção utilizada em sala de aula, a energia pode ser entendida como uma substância quasi-material, um agente causal ou como uma quantidade que é conservada e degradada, casos em que se

processo está relacionado ao conceito de **interação** (um descritor), sendo que este é necessário também para a compreensão de como surge a **complexidade** (um descritor) nos organismos, além de ser essencial para a compreensão dos conceitos de **emergência** e **mudança** (ambos descritores, sendo o segundo associado ao conceito de processo, mas também à interação entre os níveis hierárquicos, como explicitado no princípio 2.3).

Outros conceitos estruturantes são os de **entidades físicas**, **fechamento** e **simetria** (todos eles descritores). Além disso, a noção de escala temporal é essencial para compreender a diferença entre restrições e processos. Obviamente também é necessário que seja fornecido aos estudantes algum conhecimento sobre os já citados níveis hierárquicos para que o conceito de emergência seja compreendido. Um tratamento aprofundado sobre a teoria da hierarquia foge ao escopo deste trabalho, mas pode ser encontrado em Ahl & Ahlen (1996) e Allen & Hoekstra (2015).<sup>41</sup>

*Tópico 2 - Os 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;*

Para este tópico, além dos conceitos de **organização** e **restrição**, são relevantes também os conceitos de **reprodução** (um processo), **descendência** e **herança** (ambos descritores<sup>42</sup>), sendo que um novo organismo herda sua organização de outro, pré-existente. O conceito de **célula** é relevante tanto para a

---

justifica seu entendimento enquanto componente sistêmico. Ela também pode ser entendida como uma atividade funcional (ligada primariamente à ideia de movimento, o que justificaria sua classificação como um processo) ou como um princípio vital (associada a visões de mundo vitalistas, sendo uma propriedade e, logo, um descritor). Para mais detalhes, ver Aguiar e colaboradores (2018). Uma vez que visões vitalistas não têm mais lugar na biologia atual e que o conceito de energia é usado em contextos nos quais a ideia de movimento não está presente, está justificada nossa opção por classificar energia como um componente dos sistemas biológicos, pelo menos para os fins deste trabalho.

<sup>41</sup> Este tema, porém, tem recebido relativamente pouca atenção filosófica e teórica e suas implicações para o ensino de biologia também têm sido relativamente pouco exploradas. Uma visão geral sobre níveis de organização na biologia (incluindo críticas) pode ser encontrada em Eronen e Brooks (2018); uma revisão da literatura em língua inglesa e alemã sobre como os níveis têm sido abordados no ensino pode ser encontrada em Schneeweiß e Gropengießer (2019).

<sup>42</sup> É necessário ressaltar que o conceito de herança é diferente (ainda que intimamente relacionada aos) processos que permitem sua existência. “Herança” designa um conjunto de processos que permitem a passagem de algo de uma geração a outra, tais como processos genéticos, epigenéticos, comportamentais, ecológicos ou simbólicos, por exemplo. Assim, o conceito também estudado como um tipo de classificação.

compreensão da reprodução (como veículo de herança), quanto para a compreensão da constituição dos organismos, enquanto unidade básica (sendo um componente sistêmico em ambos os casos). O conceito de **mudança** (descriptor) aqui está associado à ideia de quebra de simetrias e de mudanças nas restrições, além dos conceitos de **regulação** (um processo) e **agência** (descriptor). Os conflitos que podem surgir entre funções e atividades ao longo da vida de um organismo e as maneiras pelas quais eles são evitados ou resolvidos tornam necessários os conceitos de **trade off** e de **ciclo de vida** (ambos descritores).

No caso dos organismos multicelulares, ganham destaque os conceitos de **desenvolvimento** (que deve ser entendido como um processo), **variação** (um descriptor, mas que deve ser entendido como um resultado do processo de proliferação celular), **especialização celular** (também um processo) e **interação celular** (um processo, entendido no âmbito dos princípios 2.12 e 2.13).

*Tópico 3 - Os 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 articulando-se entre si e contribuindo para a manutenção do todo, levando a trade-offs que se compatibilizam ao longo de seu ciclo de vida.*

Os conceitos de **persistência** e **equilíbrio termodinâmico** (descritores) e **energia** (componente sistêmico) têm papel central aqui. Também tem relevância o conceito de **mudança** (um descriptor, inserido no âmbito do princípio 2.3), **organização** e **restrição** (descritores) associados aos conceitos de **interação**, em geral, e de **interação celular** em específico (ambos entendidos enquanto processos), além dos conceitos de, **proliferação com variação**, **especialização celular**, **modularidade**, **propriedade emergente**, **complexidade**, **homeostase** e **trade-off** (descritores). Para tratar dos *trade-offs* são necessários também os conceitos de **ciclo de vida** e de **desenvolvimento** (enquanto processos).

Ao tratar da influência do ambiente sobre organismo, são necessários os conceitos de **interação** e **contingência** (descritores, compreendidos no âmbito do

princípio 2.5) e de **perturbação** (que pode ser compreendido como um componente sistêmico, uma vez que só o que interessa, quando estamos tratando do organismo, é seu efeito para o indivíduo).

Também sugerimos um quarto tópico que articula a abordagem filogenética de ensino sobre diversidade da vida com as ideias do grupo ORGANISM, servindo como ponto de partida para o tratamento da biologia evolutiva de forma conectada à teoria do organismo, colocando o organismo não só como paciente, mas também como agente da evolução. Porém, uma maior elaboração deste tópico é tarefa para outro trabalho. A literatura sobre evolução do desenvolvimento traz parte do conhecimento necessário para isso, sendo de especial relevância os trabalhos que não tratam exclusivamente do aspecto genético (ver, por exemplo, Arthur [2011]).

*Tópico 4 - É possível comparar as diversas soluções evolutivas apresentadas por diferentes grupos de seres vivos para os mesmos problemas e diferentes combinações de características (diferentes organizações) criam contextos que levam a diferentes possibilidades de mudanças e a diferentes novos desafios (variações).*

O conceito de **persistência** (um descritor) é central, mas relacionado ao conceito de **linhagens** (outro descritor). Também deve ser levado em conta o conceito de **organização** e como a **variação** (ambos descritores) dela dentro do organismo leva à variação na linhagem e a **mudança** (outro descritor) desta. O conceito de **restrição** (enquanto componente de uma organização) é relevante em conjunto com o conceito de **interação** (descritor), permitindo a compreensão de como a dependência entre restrições pode limitar ou facilitar o surgimento de variações evolutivamente relevantes. Outros conceitos relevantes são **contingência**, **descendência** (ambos descritores), **ciclo de vida** (que pode ser entendido como um processo no âmbito do princípio 2.8), **reprodução** (que pode ser estudado tanto como um processo quanto como um descritor à luz do princípio 2.9), **modularidade** (descritor), **desenvolvimento** (no caso dos organismos multicelulares, sendo um processo) e, obviamente, **evolução** (um processo).



Não estamos sugerindo que algum dos tópicos propostos acima tem precedência sobre outros, nem que seja possível prescrever alguma ordem preferencial para que eles sejam abordados. Também não defendemos que o ensino deve ser pensado na forma de unidades em que cada tópico é tratado de forma isolada. Ressaltamos que esses tópicos sintetizam o resultado final de um processo de aprendizagem sobre organismos e que os objetivos específicos que atravessam esse processo e os meios para atingi-lo envolvem conteúdos (e conceitos) mais específicos cuja sequência ainda deve ser pensada.

Para melhor compreender como os tópicos acima poderiam ser tratados, vamos a um exemplo. Não é novidade no Brasil que livros didáticos para o ensino básico abordem em conjunto os sistemas digestório, circulatório e respiratório quando tratam de fisiologia humana. Docentes que queiram trabalhar estes temas com base nos tópicos delineados acima poderiam planejar intervenções didáticas em torno de um modelo integrado dos sistemas, estimulando os alunos a 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 e os processos exercidos 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 tópicos 1, 3 e 4.

Até aqui, exploramos as convergências entre a proposta de Scheiner e colaboradores e a teoria do grupo ORGANISM. No entanto, é necessário também

destacar suas divergências. Um primeiro ponto a ser considerado é a já mencionada diferença de abordagens. Scheiner esquematiza uma sub-teoria geral dos organismos multicelulares sem abordar explicitamente soluções para os problemas que as concepções hegemônicas sobre organismos apresentam (por exemplo, como definir organismo e indivíduo). O grupo ORGANISM, por outro lado, foca primariamente nos organismos unicelulares e assume que há problemas ainda não resolvidos em seu arcabouço teórico que impedem de chegar a conclusões sobre o que é um organismo acima do nível unicelular e como individuá-lo; porém, traz ferramentas básicas que permitem estudar a maioria dos casos em torno do conceito de *autonomia* (ver MORENO & MOSSIO, 2015). Não exploraremos estas limitações aqui, apenas ressaltamos que para organismos multicelulares serem considerados autônomos, são necessárias restrições desenvolvimentais, pois eles não devem ser capazes de reproduzir só as partes, mas também a organização coletiva, o que demanda um processo de desenvolvimento e justifica a inclusão deste conceito no ensino de biologia.

Outra diferença entre as duas propostas diz respeito ao conceito de informação, presente em um dos princípios fundamentais da teoria da biologia proposta por Scheiner, mas ausente na proposta do grupo ORGANISM. Perret e Longo (2016) criticam o conceito de informação na biologia, bem como o de programa genético, por eles terem sido transpostos de maneira pouco refletidas a partir de arcabouços teóricos da matemática e da física, compromissados com ideias que, no contexto biológico, levariam a interpretações reducionistas e deterministas de fenômenos celulares e orgânicos (para mais detalhes, ver o original). Estes autores também argumentam que o uso desses conceitos na biologia implica não mais que metáforas mal empregadas que, em vez de primeiras aproximações úteis para estimular pesquisas, acabaram assumindo o lugar de teorias.

Scheiner (2010) afirma explicitamente que vários atributos dos sistemas vivos podem ser encontrados em todos os níveis hierárquicos, inclusive o de informação, mostrando um comprometimento com este conceito para além da teoria geral da genética (o que explica o princípio fundamental dedicado ao conceito de informação

na teoria da biologia), inclusive dedicando um princípio fundamental da teoria geral da célula (“Células contêm toda a informação necessária para sua própria construção, operação e replicação”, p. 302). Ele também coloca que a ordem presente nos sistemas vivos pode ser descrita como informação, da qual a teoria geral da genética se ocupa. Os princípios fundamentais desta teoria geral são até mesmo redigidos de forma que não são aplicáveis exclusivamente a sistemas baseados em DNA (abrindo a possibilidade de serem aplicados a possíveis formas de vida diferentes das encontradas no planeta Terra).

Perret e Longo (2016) chamam atenção para o fato de que teorias da informação originalmente assumem como premissa que a informação independe do meio material. Por exemplo: a mesma sequência binária de zeros e uns pode ser registrada a lápis no papel, ou como regiões de diferentes polaridades magnéticas em discos rígidos utilizados em computadores ou ainda como estados de *spin* em elétrons, sem que haja qualquer prejuízo à informação que a sequência apresenta, a seu uso, ou à possibilidade de transpô-la entre diferentes meios. Já nos organismos essa independência não existe: se a “informação genética” for codificada em outro material que não DNA e RNA, ela se tornaria inutilizável e impossível de ser transferida em processos celulares que consistem de cascatas moleculares altamente específicas.

Esta materialidade dos sistemas biológicos, que é um ponto central na proposta do grupo ORGANISM, ainda que presente na proposta de Scheiner não é aprofundada por ele. Outro exemplo vem de mais um princípio fundamental da teoria geral da célula: “Células interagem com seu ambiente externo, inclusive com outras células” (p. 302, tradução nossa). Ao descrever esse princípio em mais detalhes, Scheiner trata os canais da membrana celular (que intermedeiam essas interações) como componentes pelos quais passam matéria, energia e informação, caso que não escapa à crítica feita por Perret e Longo.

No que se refere à teoria geral dos organismos, em Zamer e Scheiner (2014) o conceito de informação também aparece na descrição de um princípio fundamental: “A manutenção do organismo ocorre em função de interações com os ambientes

biótico e abiótico” (p. 741, tradução nossa). Neste caso, os órgãos de sentido permitiriam obter informação do ambiente, incluindo aí a comunicação com outros organismos da mesma ou de outra espécie. Neste princípio, o uso do conceito de informação como uma metáfora nos parece menos problemático, uma vez que a crítica baseada na especificidade material não se aplica. Entretanto, sua utilidade ou prejuízo para o ensino sobre organismos ainda deve ser avaliada<sup>43</sup>.

Outra metáfora particularmente influente no estudo dos organismos que merece ser considerada no ensino básico é a que compara organismos com máquinas. Nicholson (2013) analisa esta comparação com base nas diferentes funções que uma metáfora pode desempenhar na ciência, como colocado por Bradié (1999): 1 - Teórica, servindo como base para conceituar, representar e explicar o fenômeno de interesse; 2 - Heurística, agindo como ferramenta metodológica para facilitar a investigação empírica do fenômeno de interesse, mas sem compromissos com o caráter ontológico; e 3 - Retórica, empregada na comunicação com o intuito de informar e educar pessoas que não compreendem com muita profundidade o fenômeno de interesse.

Nicholson argumenta que a concepção do organismo como máquina<sup>44</sup> pode ser entendida como uma metáfora que cumpriu e cumpre um importante papel heurístico no estudo dos organismos. Ela permite uma primeira aproximação a um sistema de interesse que é complexo e pouco familiar utilizando ferramentas conceituais que já deram resultados no estudo de outro sistema pertencente a outro domínio, possibilitando emoldurar, filtrar e organizar o conhecimento sobre um domínio do qual sabemos menos. Entretanto, é preciso levar em conta as semelhanças e diferenças entre o sistema utilizado como base para a comparação e o sistema que nos interessa estudar: a analogia só é útil para entendermos as relações não acidentais entre os sistemas, diferenciando-as das relações acidentais. Se isso não for levado em consideração, o sistema de interesse poderá acabar sendo caracterizado de forma distorcida.

---

<sup>43</sup> Para um estudo sobre os prejuízos de metáforas informacionais no ensino de genética, ver Goldbach e El-Hani (2008).

<sup>44</sup> “*Machine conception of the organism*”, no original em inglês.

Indo além, Nicholson argumenta que, embora a concepção do organismo como máquina permita orientar de forma frutífera as investigações sobre os organismos, ela não permite gerar boas explicações sobre eles, não sendo uma ferramenta útil para tratar de aspectos ontológicos e, portanto, não cumprindo bem a função teórica. Entre as limitações está o fato de a concepção reduzir os organismos às características que ela é capaz de explicar, deixado de fora todo o resto. Já sobre a função retórica da metáfora, embora Nicholson reconheça sua utilidade para comunicar ideias sobre organismos para públicos não especializados, ele ressalta que essa estratégia pode levar a mal-entendidos: ao falar de organismos **como se eles fossem máquinas**, um cientista (e, para o que nos interessa aqui, uma professora ou professor) pode acabar passando a impressão para o público de que organismos de fato **são máquinas**, o que acabaria por trazer mais prejuízos do que benefícios<sup>45</sup>.

Deixando de lado os problemas da concepção do organismo como máquina, podemos enxergar quais utilidades ela pode ter não só para a pesquisa, mas também para o ensino sobre organismos. Nicholson ressalta sua utilidade heurística enquanto falso modelo, desempenhando um papel contrafactual que, ao ressaltar o que os organismos **não são**, nos orienta em direção à verdadeira natureza dos mesmos. Ele destaca, então, as similaridades entre organismos e máquinas para depois listar as diferenças. Começemos pelas semelhanças, percebendo que tanto organismos quanto máquinas:

- São sistemas físicos confinados<sup>46</sup> sujeitos às leis da natureza;
- Transformam em trabalho parte da energia a que têm acesso (no caso dos organismos, o trabalho se dá na forma das diversas atividades que suas partes realizam umas sobre as outras, além das atividades que eles realizam sobre o ambiente externo);

---

<sup>45</sup> Porém, isso não significa que o uso de metáforas, como um todo, traga apenas problemas ao ensino e à popularização de ciências. Ver, por exemplo, Mahlios e colaboradores (2010) e Saban (2006)

<sup>46</sup> “*Bounded*”, no original em inglês. Em máquinas isso é mais facilmente perceptível do que em certas espécies de seres vivos, nas quais a separação entre organismos individuais não é clara.

- São hierarquicamente estruturados<sup>47</sup> e possuem diferenciação interna, ou seja, cada parte do sistema possui uma estrutura diferente da estrutura do todo;
- Podem ser descritos com base nas relações causais geradas pelas interações entre suas partes;
- São organizados de forma que atingem fins particulares a partir da operação coordenada de suas partes.

Quanto às diferenças:

- Máquinas servem a fins extrínsecos, determinados pelo criador ou usuário, enquanto organismos servem a um fim intrínseco, determinado a partir de dentro, que é o fim de manter a própria organização.
- As partes de uma máquina e a máquina como um todo são produzidas por um agente externo, que também realiza sua manutenção, repondo partes perdidas, desgastadas ou danificadas. Já os organismos produzem suas próprias partes, se formam, se mantêm e se reproduzem por si mesmos, sem a necessidade de agentes externos.
- No caso das máquinas podemos atribuir função tanto às partes quanto ao todo, que beneficia um agente externo. No caso dos organismos, não é possível atribuir função ao todo, apenas às suas partes, tendo em vista como elas beneficiam o todo de forma a assegurar que ele continue existindo.
- No que diz respeito à relação entre partes e todo, as partes de uma máquina possuem existência própria (e uma função já determinada pelo criador) anterior ao todo que mais tarde elas vêm a constituir, sendo que suas propriedades se mantêm mesmo quando separadas desse todo. Já nos

---

<sup>47</sup> Aqui, se revela um pressuposto metafísico da visão adotada por Nicholson que não consideramos problemático para nosso trabalho, mas que deve ser esclarecido: a estruturação hierárquica não é a única forma válida de descrever máquinas ou organismos. Também são possíveis descrições baseadas em redes de interações, por exemplo.

organismos, as partes são formadas já dentro do todo (ou seja, dependem causalmente dele) e existem numa relação de interdependência coletiva, em que cada uma é necessária não só para a geração, como também para a operação das outras. Assim, nos organismos a geração, as propriedades e as funções das partes não podem ser entendidas sem considerar o todo, diferente do que ocorre nas máquinas.

- Nas máquinas, as propriedades estruturais do todo (como tamanho, forma e estrutura) são determinadas pelas propriedades das partes. Já nos organismos, o todo exerce influência sobre as propriedades estruturais das partes, não tendo seus próprios atributos determinados unicamente por elas.
- No caso das máquinas, o todo só pode existir depois que todas as partes estão prontas e são unidas pelo criador. Nos organismos, as partes vêm a existir ao mesmo tempo que o todo, com as atividades fisiológicas já ocorrendo enquanto o organismo cresce.
- O organismo mantém sua autonomia funcional quando se reproduz, mesmo que seja por divisão, como no caso de reprodução assexuada. O mesmo não ocorre com máquinas.
- As máquinas não precisam estar operando constantemente para manter sua integridade estrutural e podem ser desligadas. Já os organismos não podem ser desligados, pois a manutenção de sua integridade depende da manutenção de suas atividades.
- Máquinas são controladas, ou seja, as normas que regem seu funcionamento são determinadas pelo criador ou usuário. Nos organismos, as normas são determinadas internamente.

No âmbito deste trabalho, o que mais nos interessa nas listas propostas por Nicholson é o fato delas sistematizarem pontos-chaves que devem ser tratados no ensino. Ressaltar as diferenças entre máquinas e organismos pode ser útil em estratégias didáticas que levem em conta aspectos da visão organicista, já que para

os estudantes é fácil compreender as características das máquinas<sup>48</sup>. Pensar sobre elas 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 dos temas e conceitos listados nos quatro tópicos anteriormente.

Por exemplo, ao falar sobre como os organismos produzem suas próprias partes, seria possível tratar não só das restrições que operam dentro do próprio organismo, mas também das restrições que o conectam ao ambiente e permitem a troca de matéria e energia com o meio externo. Ao tratar das relações entre parte e todo, se trataria do conceito de função e como ele se baseia na contribuição que uma determinada parte faz enquanto restrição componente de um fechamento organizacional. Para entender como o todo influencia as propriedades da parte, o próprio conceito de restrição seria trazido à tona.

Compreender essas explicações não é uma tarefa trivial. Uma dificuldade de especial relevância para o ensino é o caráter imbricado dos organismos, em que cada nível hierárquico interfere nos níveis abaixo e acima, sendo que, ao tratarmos de fechamento de restrições, devemos considerar também interações entre níveis não contíguos (a atuação do sistema respiratório é restringida pelas células do epitélio pulmonar, por exemplo).

Para que os estudantes compreendam como o todo influencia as propriedades das partes, é necessária uma compreensão dos níveis hierárquicos que compõem um organismo e que tipos de propriedades (muitas vezes propriedades emergentes) estão presentes em cada nível. É comum no ensino atual se aplicar uma abordagem

---

<sup>48</sup> Da forma como trazemos os pontos apontados por Nicholson, nos arriscamos a incorrer em um dualismo metafísico: falamos sobre máquinas a partir de uma metafísica substancialista, enquanto falamos de organismos a partir de uma metafísica processualista (que é também adotada ao longo de todo este trabalho). De fato, esta crítica é válida e poderia ser discutida em mais detalhes (inclusive se seria possível abordar todos os pontos apontados aqui a partir de uma metafísica processualista), mas isso está além do escopo deste trabalho. Para nossos objetivos atuais, tal dualismo não representa um problema, mas uma oportunidade: como a visão substancialista é (a nosso ver) dominante no ensino de Biologia, tratar as máquinas a partir dela permitiria não só explorar o que já é familiar aos estudantes, mas também ressaltar as diferenças entre a forma como tratamos as máquinas e a forma como devemos tratar os organismos (i.e., de um ponto de vista processualista).



de baixo para cima, tratando primeiro de células, depois de tecidos e, por fim, de órgãos e sistemas de órgãos. Nessa abordagem, as contribuições de cada nível para as propriedades dos níveis superiores podem ser claramente percebidas, mas tende a ocultar o papel que cada nível desempenha sobre os níveis inferiores<sup>49</sup>. Assim, a abordagem de baixo para cima, por si só, não permite uma visão integrada das interações entre os níveis hierárquicos. Pelo contrário, esse tipo de abordagem tende a favorecer uma visão reducionista (ou, no máximo, organicista *mainstream*), mas distancia-se da visão organicista que estamos propondo.

Outra dificuldade é 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 (que já foram ou serão mencionados) sendo apresentadas em seguida. Para que estas conexões sejam estabelecidas, seria necessário o conhecimento prévio de todos os conceitos. Uma estratégia em espiral seria mais adequada, permitindo que os estudantes revisitem cada conceito em níveis de profundidade e complexidades crescentes e estabelecendo novas conexões a cada novo contato.

A ideia de currículo em espiral tem suas raízes nas ideias de Hilda Taba e seu livro *“Curriculum development: Theory and practice”*, de 1962, tendo sido posteriormente popularizada por Jerome Bruner, e consiste da organização do currículo de maneira que os conceitos sejam revisitados ao longo dos anos de ensino formal, com crescente profundidade, de forma que cada novo conhecimento ou habilidade se conecte ao que o estudante já sabe, permitindo um aumento de proficiência a cada ciclo (DAVIS, 2007)<sup>50</sup>. Gibbs (2014) defende que em vez de organizar os ciclos ao longo dos anos letivos, a espiral deveria ser “comprimida” para ser percorrida ao longo de um semestre ou de um ano letivo de uma disciplina.

---

<sup>49</sup> Para detalhes sobre uma estratégia de ensino que leva em consideração a interação entre os níveis, ver El-Hani (2002)

<sup>50</sup> A abordagem adotada no ensino básico brasileiro, em que os estudantes revisitam no ensino médio tópicos já estudados no ensino fundamental, é em algum grau semelhante.

Se adotarmos essa abordagem, o ensino sobre organismos poderia ser pensado de forma que não apresente simplesmente os sistemas de órgãos de forma isolada, ou os vários grupos taxonômicos sucessivamente, ressaltando suas diferenças. Ele poderia apresentar, por exemplo, três ciclos ao longo de um ano letivo, sendo que no primeiro ciclo se trataria da caracterização básica dos níveis hierárquicos dos organismos e suas propriedades, com ênfase em como a célula é o nível de agência irreduzível, onde diversas reações bioquímicas têm lugar (OA1) e onde são fabricados os componentes mais básicos do organismo (OA3). A visão da célula como veículo de herança e passível de variação para compor organismos multicelulares (OA2) também poderia ser tratada neste momento. Conceitos como processo, energia, restrição e organização já poderiam ser introduzidos com o auxílio de um modelo de fechamento de restrições que leve em conta apenas o nível celular.

Num segundo ciclo, poderia ser utilizado um modelo de fechamento de restrição aplicável a vários grupos taxonômicos ressaltando as várias funções por eles compartilhadas e que levem em conta vários níveis hierárquicos dos organismos multicelulares, mostrando como há interação entre eles e coesão entre as partes do sistema. A interação entre as partes e entre os níveis hierárquicos e as propriedades emergentes, frutos da complexidade dos organismos (OA1) poderiam receber mais destaque. Reprodução, desenvolvimento e restrições regulatórias (OA2) começariam a ser estudadas. A reação do organismo frente a contingências e perturbações ambientais, a manutenção da homeostase e *trade-offs* (OA3) também poderiam ser introduzidas neste ponto.

No terceiro ciclo, seria possível trazer à tona as ideias de variação e mudança. Pode-se enfatizar como mudanças em um nível hierárquico gera mudanças em outros níveis (OA1). Também é possível aprofundar noções sobre variação celular e as interações entre os vários tipos de célula nos organismos multicelulares, além da ideia de como muitos destes organismos mudam ao longo da vida, através de processos de desenvolvimento (OA2). As mudanças induzidas pelo ambiente e as reações dos organismos a elas (OA3) estudadas no ciclo anterior podem ser

retomadas junto ao modelo de fechamento de restrições, mas agora aliados a uma visão filogenética, que permite ensinar como as variadas organizações permitem lidar de diferentes formas com os desafios ambientais e os *trade-offs*, além de serem tanto causas quanto consequências da variação das linhagens, afetando inclusive os ciclos de vida das diferentes espécies (OA4). Neste ciclo, também seria possível observar como a organização equilibra os opostos da variação e da estabilidade, tanto nos organismos individuais quanto nas linhagens.

Sobre o modelo de fechamento de restrições mencionado no segundo ciclo, ele pode ser pensado de forma modular, com cada função ou sistema de órgãos sendo estudada em um módulo. Assim, na forma de uma representação visual, ele pode funcionar como um tipo de mapa ao qual referências constantes devem ser feitas, evitando que se perca de vista o todo do qual cada módulo faz parte, como eles contribuem para a persistência do organismo como um todo e como eles interagem entre si.

É importante ressaltar que ao ensinar sobre funções nos organismos e comparar como as mesmas estão presentes nos diversos grupos filogenéticos, o que importam são os padrões gerais dos processos, e não todas as especificidades de cada grupo. Ao se falar em reprodução vegetal, por exemplo, é comum que se perca o foco tratando de detalhes como os nomes dos gametas de cada grupo ou em que fase do ciclo de vida há células reprodutivas haploides e diploides (sem relacionar os ciclos de vida a ideias da ecologia e da evolução, muitas vezes), enquanto o que realmente importa não são os nomes, mas as adequações que os processos apresentam frente aos desafios impostos pelo ambiente e pelas outras características destes organismos. Precisamos educar para a compreensão (análise, avaliação etc.) muito mais do que para a memorização. Hoje em dia, encontrar um termo que designa uma entidade ou processo é cada vez mais fácil, mas entender o processo e o papel da entidade no referido processo não é tão fácil sem a educação básica.

Um currículo desenhado desta forma já colocaria em contato as teorias gerais do organismo com a teoria geral da célula e parte da teoria geral da evolução. Para um

currículo que integre também a teoria geral da genética, um caminho possível seria tratar os fenômenos genéticos tanto como restrições dentro da célula, quanto como restrições em níveis hierárquicos superiores no estudo do desenvolvimento. Já a teoria geral da ecologia pode ser integrada por meio de processos ecológicos em que níveis ecológicos mais abrangentes afetam (ou mesmo agem como restrições<sup>51</sup> sobre) os organismos.

### **Considerações finais**

Dada a relevância do organismo para a compreensão da biologia, a maneira como ele é abordado no ensino médio deve ser revista. A abordagem atual consiste predominantemente na descrição de suas partes de forma estática e isolada, ressaltando como as propriedades destas mesmas partes determinam as propriedades do organismo como um todo. É dado destaque à variedade das formas dos organismos e seus diversos grupos filogenéticos, juntamente com o ensino de uma grande quantidade de conceitos específicos. Também é dominante a visão de que é possível, por um lado, explicar a forma e o funcionamento dos organismos apelando à genética (incorrendo em reducionismo genético) e, por outro, explicar a origem histórica das formas e funções nas diferentes linhagens apelando a processos evolutivos dos quais os organismos são pacientes, mas nunca agentes. A falta de ferramentas teóricas que permitam explicar aspectos fundamentais do organismo tendo como base fenômenos que ocorram no nível do organismo aumenta as chances de que organismos sejam vistos, no ensino médio, apenas como fontes de exemplos para princípios da física e da química, incorrendo em reducionismo epistemológico.

Defendemos um ensino que leve em conta o pensamento organicista, no qual se aceita o reducionismo ontológico, mas não o reducionismo epistemológico, permitindo explicar o organismo a partir da ideia de autonomia e da organização enquanto fechamento de restrições. Desta forma se vai além das limitações das

---

<sup>51</sup> Para um estudo sobre a abordagem de fechamento de restrições aplicada a sistemas ecológicos, ver, por exemplo, Nunes-Neto e colaboradores (2014).

explicações baseadas apenas no reducionismo metodológico, permitindo que os estudantes percebam não só como as propriedades emergentes são importantes para os organismos, mas também como os níveis hierárquicos interagem e o todo influencia as partes. O organismo passa a ser visto não só como paciente, mas como agente de sua própria persistência, criando e modificando as normas do próprio funcionamento, além de interferir também na evolução de sua linhagem. Dar este papel de destaque ao organismo permite entender o que esse tipo de sistema biológico tem de específico quando comparado a outros tipos de sistemas biológicos, além de permitir ver além da diversidade de linhagens.

A teoria geral do organismo proposta por Scheiner e o a teoria do organismo do grupo ORGANISM possibilitam identificar conceitos estruturantes que deveriam ser priorizados no ensino médio de biologia por proporcionarem a compreensão de uma maior quantidade de conceitos mais específicos, além de constituírem uma base de comparação para que se perceba o que é e o que não é importante ensinar e aprender. Assim, é possível não só ter uma visão mais integrada entre diversas áreas de estudo da biologia tradicionalmente vistas como distintas (como a zoologia e a botânica), mas também reduzir a quantidade de conteúdos incluídos no currículo apenas por sua dimensão conceitual. Como consequência, teremos um ensino de biologia que não só demandaria menos esforço de memorização por parte dos estudantes, mas que também propiciaria mais tempo para que as dimensões procedimentais e atitudinais dos conteúdos sejam tratadas de forma explícita e mais bem pensadas.

A lista de conceitos estruturantes da biologia de organismos apresentada neste trabalho não deve ser encarada como definitiva e prontamente aplicável à construção de currículos ou diretamente utilizável em sala de aula. 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.

A contribuição dos professores do ensino básico é de grande importância. Não só eles teriam que se familiarizar com as teorias do organismo, mas também torná-

las ensináveis. Uma vez que os conceitos que listamos são abstratos e de difícil compreensão, a possibilidade de transposição didática para o contexto do ensino médio deve ser devidamente avaliada. A experiência e o conhecimento situado dos professores podem fornecer valiosas percepções sobre as possibilidades e dificuldades de ensinar e aprender conceitos que normalmente não estão presentes no ensino, complementando o conhecimento acadêmico.

Porém, não devemos perder de vista que aqui abordamos apenas o nível da teoria geral do organismo, na moldura proposta por Scheiner, sendo que consideramos necessário ter em conta também o nível das teorias constituintes para o contexto de ensino. Como Zamer e Scheiner (2014) alertam, o conhecimento necessário para a formalização das teorias constituintes já existe, mesmo que esse esforço ainda deva ser realizado. Não consideramos esse esforço papel dos professores e pesquisadores em ensino de biologia e, até que ele seja realizado, o que nos preocupa é a falta de um repertório de princípios fundamentais explícitos e claros que possam ser abertamente discutidos e a partir dos quais possamos identificar conceitos estruturantes mais específicos e que forneçam mais subsídios para se pensar o currículo e o ensino. Observando os princípios fundamentais da teoria geral dos organismos, é possível perceber como alguns deles são dedutíveis a partir dos princípios fundamentais da teoria da biologia, sendo nada mais do que aplicações a contextos mais específicos. Porém, outros princípios adicionam informações que não são dedutíveis a partir do nível mais abrangente, o que também ocorre no nível das teorias constituintes (como fica evidenciado nas teorias constituintes das teorias gerais da ecologia [SCHEINER & WILLIG, 2011] e da evolução [SCHEINER & MINDELL, 2020]) e dificulta a aplicação a curto prazo de estratégias de ensino baseadas na proposta que delineamos neste trabalho.

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 quais ideias e habilidades o estudante deverá saber ao fim do curso para então encontrar os conceitos centrais que deverão ser apreendidos 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 quais conceitos mais específicos atualmente, tratados em livros didáticos e em sala de aula, podem ser deixados de lado ou receber menor atenção<sup>52</sup>.

Ao tratarmos da estratégia de cima para baixo, é possível perceber como conceitos estruturantes podem ser aplicados a contextos singulares, relacionando-os a conceitos específicos. Devemos ter em mente, porém, que os estudantes devem ser avaliados não pelos fragmentos individuais, e sim pelo entendimento de como esses fragmentos contribuem para a compreensão dos conceitos estruturantes (COOPER, POSEY & UNDERWOOD, 2017) e como estes conceitos podem ser aplicados em diversos contextos. Isso significa pensar de forma diferente até mesmo avaliações escritas, em que comumente se utilizam questões que demandam habilidades como lembrar informações e aplicar conhecimentos apenas a situações já familiares (tipo de questão que inclusive era comum no Exame Nacional do Ensino Médio, o ENEM, de 2009 a 2014, segundo Mancini e colaboradores [2017]). Obviamente seria impossível ensinar biologia (ou qualquer outra ciência) sem

---

<sup>52</sup> Aqui, estamos levando em conta apenas a contribuição dos conceitos mais específicos para o entendimento da biologia, ou seja, sua validade epistemológica. Certamente há casos em que a justificativa de incluir conceitos mais específicos se dá por eles serem necessários ao ensino de temas incluídos no currículo por sua validade social, ou seja, o que a sociedade em todos os níveis (local, regional nacional ou global) considera importante ou necessário ensinar na escola face aos problemas e desafios encontrados por setores outros que não a comunidade científica.

mencionar uma certa quantidade de conceitos específicos, mas deve ser deixado claro aos estudantes o que se espera que eles aprendam. Em um contexto no qual é comum que os estudantes esperem ser avaliados pela quantidade de palavras e princípios memorizados, isso significa, muitas vezes, explicitar também quando certos conceitos mencionados não serão objetos de avaliação.

Outro ponto que deve ser considerado futuramente é não só a quantidade de conceitos, mas a quantidade de temas tratados no ensino de biologia. Schwartz e colaboradores (2009) observaram as abordagens de ensino às quais estudantes estadunidenses foram expostos no ensino médio, concluindo que aqueles que tiveram contato com muitos temas (mas em pouca profundidade) nas aulas de biologia tinham notas piores em cursos introdutórios de biologia no ensino superior do que aqueles que estudaram menos temas (mas em maior profundidade). Os autores ressaltam que trabalhar os temas em maior profundidade traz, entre outras vantagens, a possibilidade de estudar o mesmo fenômeno sob diversas perspectivas e de aplicar a mesma ideia em uma maior variedade de contextos. Essa estratégia está em consonância com a ideia de um currículo organizado como uma espiral comprimida, como tratamos neste trabalho.

Essa visão de profundidade deve ser destacada: ela não significa aprender mais conceitos, e sim aprender um número reduzido de conceitos, desenvolvendo maior familiaridade com eles. Entretanto, o número de temas é um assunto mais delicado: como a proposta do Scheiner explicita, cada uma das cinco teorias gerais subordinadas à teoria da biologia possui princípios fundamentais próprios que devem ser tratados no ensino, tornando necessário abordar modos de pensar específicos que não estão presentes em outras teorias gerais. Por exemplo, na teoria de organismos é necessário pensar em como ocorre a entrada e a utilização de energia no indivíduo, mas na teoria geral da ecologia, quando se trata de ecossistemas, é necessário pensar nos componentes dos ecossistemas como reservatórios de energia e como eles afetam o fluxo dessa mesma energia. Ao mesmo tempo, em ambas as teorias gerais se prioriza o pensamento sobre sistemas, enquanto na teoria geral da evolução se prioriza o pensamento sobre linhagens



(CAPONI, 2016). Assim, reduzir o número de temas no ensino de biologia envolve pensar em quais os temas mais relevantes dentro de cada teoria geral, o que é um problema a ser abordado em trabalhos futuros, mas, dada a dominância da biologia de organismos nos currículos atuais, um ensino que busque destacar as semelhanças entre os organismos (em vez das diferenças) já teria dado um primeiro passo neste sentido.

## Referências

AGUIAR, O.; SEVIAN, H.; EL-HANI, C. N. Teaching About Energy: Application of the Conceptual Profile Theory to Overcome the Encapsulation of School Science Knowledge. **Science & Education**, v. 27, n. 9–10, p. 863–893, 2018.

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

ALLEN, T. F., H.; HOEKSTRA, T. W. **Toward a unified ecology**. 2 ed. New York: Columbia University Press, 2015.

AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **Vision and change in undergraduate biology education**: A call to action. Washington, 2011.

ANDREATTA, S. A.; MEGLHIORATTI, F. A. **A integração conceitual do conhecimento biológico por meio da Teoria Sintética da Evolução**: possibilidades e desafios no ensino de Biologia. Cascavel: Programa de Desenvolvimento Educacional, 2009.

ARAÚJO, L. A. L. The centrality of evolution in biology teaching: towards a pluralistic perspective. **Journal of Biological Education**, p. 1-12, 2020.

ARNELLOS, A.; EL-HANI, C. N. Emergence, downward causation, and no brute facts in biological systems. In: VINTIADIS, E.; MEKIOS, C. (Eds.). **Brute Facts**. Oxford: Oxford University Press, 2018. p. 248–269.

ARP, R. Life and the homeostatic organization view of biological phenomena. **Cosmos and History**: The Journal of Natural and Social Philosophy, v. 4, n. 1-2, p. 260-285, 2008.

ARTHUR, W. **Evolution**: A developmental approach. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

AYALA, F. Introduction. In: AYALA, F.; DOBZHANSKY, T. (Ed.). **Studies in the philosophy of biology**: reduction and related problems. California: University of California Press, 1974. p. vii-xvi.

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.

BAINS, W. The parts list of life. **Nature Biotechnology**, v. 19, n. 5, p. 401-402, 2001.

BERMÚDEZ, G.; LONGHI, A. L. Propuesta curricular de hipótesis de progresión para conceptos estructurantes de ecología Curricular proposal of progression hypothesis for ecological structurant concepts. **Campo abierto**, v. 25, n. 2, p. 13-38, 2006.

\_\_\_\_\_. 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.

BICH, L. Complex emergence and the living organization: an epistemological framework for biology. **Synthese**, v. 185, n. 2, p. 215-232, 2012.

BLACKBURN, S. **The Oxford dictionary of philosophy**. 2 Ed. Oxford: Oxford University Press, 2005.

BRADIE, M. Science and Metaphor. **Biology & Philosophy**, v. 14, p. 159–166, 1999.

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

\_\_\_\_\_. Parecer CNE/CEB nº 5/2011. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Aprovado em 4 de maio de 2011.

\_\_\_\_\_. Resolução CNE/CEB nº 3/2018. **Atualiza as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Aprovada em 21 de novembro de 2018.

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

BRIGANDT, I. Explanation of Molecular Processes without Tracking Mechanism Operation. **Philosophy of Science**, v. 85, n. 5, p. 984–997, 2018.

BROWNELL, S. E.; FREEMAN, S.; WENDEROTH, M. P.; CROWE, A. J. BioCore Guide: A Tool for Interpreting the Core Concepts of Vision and Change for Biology Majors. **CBE—Life Sciences Education**, v. 13, n. 2, p. 200–211, 2014.

CAPONI, G. La distinción entre Biología Funcional y Biología Evolutiva como clave para la discusión del reduccionismo en ciencias de la vida. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência [serie 3]**, v. 14, n. 1, p. 119-157, 2004.

\_\_\_\_\_. 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.

\_\_\_\_\_. Esboço de uma taxonomia dos empreendimentos reducionistas. **Filosofia e História da Biologia**, v. 9, n. 1, p. 19-38, 2014.

\_\_\_\_\_. Lineages and systems - a conceptual discontinuity in biological hierarchies. ELDREDGE, N.; PIEVANI, T.; SERRELLI, E.; TĚMKIN, I. (Eds.), **Evolutionary theory - a hierarchical perspective**. Chicago: The University of Chicago Press, 2016. p. 47-62.

\_\_\_\_\_. El concepto evolucionario de linaje. **Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia**, v. 20, n. 41, p. 11-39, 2021.

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.

\_\_\_\_\_. 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.

\_\_\_\_\_. How Should We Select Conceptual Content for Biology High School Curricula? **Science & Education**, v. 29, n.3, p. 513-547, 2020.

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](http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=122)> Acessado em 16 de junho de 2019.

COLLI, P. L. G.; ANDRADE, M. A. B. S.; BASTOS, V. C. A evolução como eixo integrador das ciências biológicas: uma unidade didática no contexto do ensino de biologia. **Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática**, v. 5, n. 1, p. 22-47, 2021.

COLL, C.; POZO, J. I.; SARAIBA, B.; VALLS, E. **Los contenidos em la reforma**. Madrid: Grupo Santillana de Ediciones, 1992.

COLLEGE BOARD, U. S. A. **Science** : College Board Standards for College Success. 2009.

CONRADO, D. M., & NUNES-NETO, N. F. Questões sociocientíficas e dimensões conceituais, procedimentais e atitudinais dos conteúdos no ensino de ciências. In: D. M. CONRADO & N. F. NUNES-NETO (Eds.), **Questões sociocientíficas - Fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas**. Salvador: EDUFBA, 2018. p. 77–118. Disponível em <<http://repositorio.ufba.br:8080/ri/bitstream/ri/27202/1/questoes-sociocientificasEDUFBA.pdf>>. Acessado em 26 de março de 2020.

COOPER, M. M.; POSEY, L. A.; UNDERWOOD, S. M. Core Ideas and Topics: Building Up or Drilling Down? **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 5, p. 541–548, 2017.

DAVIS, E. G. **A Study of the Effects of an Experimental Spiral Physics Curriculum Taught to Sixth Grade Girls and Boys**. Tese (Doutorado em Educação) - Gradyate Faculty, Baylor University. Waco, 276. 2007.

EL-HANI, C. N. Sistema triádico básico: um Referencial heurísticamente fértil para o ensino de biologia. **VIII Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia**, v. 6, 2002.

EL-HANI, C. N.; EMMECHE, C. On some theoretical grounds for an organism-centered biology: Property emergence, supervenience, and downward causation. **Theory in Biosciences**, v. 119, p. 234–275, 2000.

EL-HANI, C. N.; QUEIROZ, J. & EMMECHE, C. **Genes, information, and semiosis**. Tartu: Tartu University Press, Tartu Semiotics Library, 2009.

ERONEN, M. I.; BROOKS, D. S., Levels of Organization in Biology. In Zalta, E. N (Ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Spring 2018 Edition). Disponível em <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/levels-org-biology/>>. Acesso em 30 de janeiro de 2019.

FARIA, R. C. B.; COMPIANI, M. Uma análise dos livros didáticos de Biologia: dimensão horizontal e vertical sobre a divisão dos conteúdos. In: **Atas do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (X ENPEC)**. Águas de Lindóia, Associação Brasileira de Pesquisa em Educação Ciências, 2015.

FREIDENREICH, H. B.; DUNCAN, R. G.; SHEA, N. Exploring Middle School Students' Understanding of Three Conceptual Models in Genetics. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 17, p. 2323–2349, 2011.

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.

GIL-PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GOLDBACH, T.; EL-HANI, C. N. Entre Receitas, Programas e Códigos: Metáforas e Idéias Sobre Genes na Divulgação Científica e no Contexto Escolar. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 153–189, 2008.

GRIFFITHS, P. E. Genetic information: A metaphor in search of a theory. **Philosophy of Science**, v. 68, n. 3, p. 394-403, 2001.

GUIMARÃES, M. D. M.; LIMA-TAVARES, M.; NUNES-NETO, N. F.; CARMO, R.S.; EL-HANI, C. N. A Teoria Gaia É um Conteúdo Legítimo no Ensino Médio de Ciências? **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 73-104, 2008

HALL, B. K. Evolutionary developmental biology (Evo-Devo): Past, present, and future. **Evolution: Education and outreach**, v. 5, n. 2, p. 184-193, 2012.

HARLEN, W (Ed.). **Principles and big ideas of science education**. Hatfield: Association for Science Education, 2010.

HO, M. Towards a theory of the organism. **Integrative Physiological and Behavioral Science**, v. 32, n. 4, p. 343-363, 1997.

HOESE, W. J.; NOWICKI, S. Using" the organism" as a conceptual focus in an introductory biology course. **The American Biology Teacher**, v. 63, n. 3, p. 176-182, 2001.

HUMPHREYS, P. How properties emerge. **Philosophy of science**, v. 64, n. 1, p. 1-17, 1997.

INÉZ, T. G.; BRITO, B. P. L.; EL-HANI, C. N. A Model for Teaching About the Nature of Science in the Context of Biological Education. **Science & Education**, p. 1-46, 2021.

JABLONKA, E. Information: Its interpretation, its inheritance, and its sharing. **Philosophy of Science**, v. 69, p. 578-605, 2002.

KIM, J. Emergence: Core ideas and issues. **Synthese**, v. 151, n. 3, p. 547-559, 2006.

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.

LONGO, G.; MONTÉVIL, M. Protention and retention in biological systems. **Theory in Biosciences**, v. 130, n. 2, p. 107–117, 2011.

LONGO, G. MONTÉVIL, M., SONNENSCHNEIN, C., SOTO, A. M. In search of principles for a theory of organisms. **Journal of biosciences**, v. 40, n. 5, p. 955-968, 2015.

LOPES, W. R.; FERREIRA, M. J. M.; STEVAUX, M. N. Proposta pedagógica para o Ensino Médio: filogenia de animais. **Revista Solta a Voz**, v.18, n. 2, p. 263-286, 2007.

LOVE, A. C.; NATHAN, M. J. The Idealization of Causation in Mechanistic Explanation. **Philosophy of Science**, v. 82, n. 5, p. 761–774, 2015.

MACMAHON, J. A. ; PHILLIPS, D. L.; ROBISONSON, J. V.; SCHIMPF, D. J. Levels of Biological Organization: An Organism-Centered Approach. **BioScience**, v. 28, n. 11, p. 700–704, 1978.

MAHLIOS, M.; MASSENGILL-SHAW, D.; BARRY, A. Making sense of teaching through metaphors: a review across three studies. **Teachers and Teaching**, v. 16, n. 1, p. 49–71, 2010.

MANCINI, G. V.; MARQUES JUNIOR, A. C.; CINTRA, E. P. Análise dos itens de biologia presentes no ENEM. **Enseñanza de las ciencias**, v. extra, p. 1479–1485, 2017.

MARICATO, F. E.; CALDEIRA, A. M. A. O conceito de interação Biológica/ecológica: contribuição aos estudos em epistemologia da biologia e ao ensino de Biologia. **Acta Scientiarum. Education**, v. 39, n. 4, p. 441-451, 2017.

MATTHEWS, M. **Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science**. New York: Routledge, 1994.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **De Máquinas y Seres Vivos**: Una teoría sobre la organización biológica. Santiago de Chile: Editorial Universitaria S.A., 1973.

\_\_\_\_\_. **The tree of knowledge**: the biological roots of human understanding. Boston: Shambala, 1987.

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

\_\_\_\_\_. **Toward a new philosophy of biology**. Cambridge: Harvard University Press, 1988

\_\_\_\_\_. **This is biology**. Cambridge: Harvard University Press, 1997.

\_\_\_\_\_. **What makes biology unique?** New York: Cambridge University Press, 2004.

MEGLHIORATTI, F. A.; ANDRADE, M. A. B. S.; BRANDO, F. R.; CALDEIRA, A. M. A. A compreensão de sistemas biológicos a partir de uma abordagem hierárquica: contribuições para a formação de pesquisadores. **Filosofia e História da Biologia**, v. 3, n. 1, p. 119-138, 2008.

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.

MEGLHIORATTI, F. A.; EL-HANI, C. N.; CALDEIRA, A. M. A. 2009. A centralidade do conceito de organismo no conhecimento biológico e no ensino de biologia. In: CALDEIRA, A. M. A. (org.). **Ensino de Ciências e Matemática II**: Temas sobre formação de conceitos. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. p. 33-52.

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.

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.

MOSS, L. **What genes can't do**. Cambridge: MIT press, 2004.

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.

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.

\_\_\_\_\_. **A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas**. Washington: National Academies Press, 2012.

\_\_\_\_\_. **Next generation science standards: For states, by states**. Washington: The National Academies Press, 2013.

NEHM, R. H. Biology education research: building integrative frameworks for teaching and learning about living systems. **Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2019.

NEHM, R. H.; HA, M. Item feature effects in evolution assessment. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 48, n. 3, p. 237–256, 2011.

NICHOLSON, D. J. Organisms ≠ 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.

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, C. N. Function in ecology: an organizational approach. **Biology & Philosophy**, v. 29, n. 1, p. 123–141, 2014.

OLIVEIRA, D. B. G.; BOCCARDO, L.; SOUZA, M. L.; LUZ, C. F. S.; SOUZA, A. L. S.; BITENCOURT, I. M.; SANTOS, M. C. O Ensino de Zoologia numa perspectiva evolutiva: análise de uma ação educativa desenvolvida com uma turma do Ensino Fundamental. In: Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, 8 ed., 2011, Campinas. **Anais eletrônicos do VIII Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências**. Rio de Janeiro: ABRAPEC, 2011.

PERRET, N.; LONGO, G. Reductionist perspectives and the notion of information. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 122, n. 1, p. 11-15, 2016.



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.

PICKETT, S. T. A.; KOLASA, J.; JONES, C. G. **Ecological Understanding**, 2 ed. Burlington: Elsevier, 2007.

PIGLIUCCI, M. On the different ways of “doing theory” in biology. **Biological Theory**, v. 7, n. 4, p. 287-297, 2013.

RESCHER, N. **Process Metaphysics**: An Introduction to Process Philosophy. Albany: State University of New York Press, 1996

SABAN, A. Functions of Metaphor in Teaching and Teacher Education: A review essay. **Teaching Education**, v. 17, n. 4, p. 299–315, 2006.

SALTHER, S. **Evolving hierarchical systems**: their structure and representation. New York: Columbia University Press, 1985.

SANTOS, F. M.; WISCHHOFF, U.; MELO, L. F. S.; CARVALHO, C. F.; FRANCO, L. G. Introduzindo *trade-offs* na educação básica: Uma sequência de atividades sobre os lagartos *Uta Stansburiana*. In FRANCO, L. G. (Org). **Ensinando biologia por investigação**: propostas para inovar a ciência na escola. São Paulo: Na Raiz, 2021, p. 145-161.

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

SCHEINER, S. M.; MINDELL, D. P. (Eds.). **The theory of evolution**: principles, concepts, and assumptions. Chicago: The University of Chicago Press, 2020.

SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R. A general theory of ecology. **Theoretical ecology**, n. 1, p. 21-28, 2008.

\_\_\_\_\_. A general theory of ecology. In SCHEINER, S. M.; WILLIG, M. R (Org.). **The theory of ecology**. Chicago: University of Chicago Press, 2011.

SCHNEEWEIß, N.; GROPENGLIEßER, H. Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. **Education Sciences**, v. 9, n. 3, p. 207, 2019.

SCHWARTZ, M. S.; SADLER, P. M.; SONNERT, G.; TAI, R. H. Depth versus breadth: How content coverage in high school science courses relates to later success in college science coursework: Depth Versus Breadth. **Science Education**, v. 93, n. 5, p. 798–826, 2009.

SELLES, S. L. E.; OLIVEIRA, A. C. P. Ameaças à Disciplina Escolar Biologia no “Novo” Ensino Médio (NEM): Atravessamentos Entre BNCC e BNC-Formação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. e40802-34, 2022.

SILVA, N. R. **Uma proposta de ensino da diversidade zoológica através de uma abordagem filogenética**. Salvador: Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, 2017. Dissertação (Mestrado em ensino, filosofia e história das ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 130 p, 2017. Disponível em <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/31479>>. Acessado em 13 de maio de 2020.

SONNENSCHN, C.; SOTO, A. M.; MICHAELSON, C. L. Human serum albumin shares the properties of estrocolyone-I, the inhibitor of the proliferation of estrogen-target cells. **The Journal of steroid biochemistry and molecular biology**, v. 59, n. 2, p. 147-154, 1996.

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.

STEPHAN, A. Varieties of emergence in artificial and natural systems. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 53, n. 7-8, p. 639-656, 1998.

VENTER, C. **A Life Decoded**. London: Penguin Books, 2007

WEI, C. A.; BEARDSLEY, P. M.; LABOV, J. B. Evolution education across the life sciences: making biology education make sense. **CBE—Life Sciences Education**, v. 11, n. 1, p. 10-16, 2012.

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

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.

## **A TEORIA ORGANIZACIONAL DA AUTONOMIA E A DESCONTINUIDADE CONCEITUAL ENTRE SISTEMAS E LINHAGENS: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO**

### **Resumo**

A Teoria Organizacional da Autonomia (TOA) pretende prover um tratamento do organismo que permita entender não só sua constituição e funcionamento com base em uma abordagem da organização biológica, mas também como essa organização se relaciona à evolução biológica. Entre os objetivos declarados da TOA está a superação da dicotomia entre causas próximas e últimas popularizada por Ernst Mayr. As recentes críticas às ideias de Mayr colocaram em dúvida sua utilidade, mas foram respondidas por Gustavo Caponi, que reformula a distinção entre as causas com base na hierarquia biológica em que podemos observar seus efeitos: os sistemas, no caso das causas próximas, e as linhagens, no caso das causas evolutivas. Caponi também esclarece que há uma descontinuidade conceitual no modo como a Biologia trata as duas hierarquias, mas, como mostrado neste trabalho, esta descontinuidade não é reconhecida no âmbito da TOA. Neste trabalho, mostramos como o reconhecimento dessa descontinuidade traz problemas para a TOA em pelo menos dois de seus aspectos. O primeiro é o conceito de variação adotada por ela, que é atribuído a sistemas individuais. O segundo diz respeito à abordagem organizacional de função e ao tratamento unificado dado a funções intergeracionais e intrageracionais. Argumentamos que ao tratar a função não como um atributo de sistemas, nem de linhagens, a abordagem organizacional trata as funções (e, por extensão, as restrições) como classes. Assim, o status ontológico da organização como regime causal não redutível às partes de um sistema (aspecto central da TOA) é posto em questão.

### **Introdução**

Uma das ideias de maior relevância para a filosofia da biologia no século XX foi a distinção entre causas próximas e causas últimas proposta por Ernst Mayr (1961). Entre suas contribuições está o reconhecimento de que os sistemas biológicos estão

sujeitos a um regime de causação (as causas últimas, ou evolutivas) que não podem ser explicados com base exclusivamente nos aparatos teóricos e conceituais da Física e da Química. Além de contribuir para esclarecer a natureza dos objetos de pesquisa da Biologia e dos fenômenos biológicos, Mayr mostrou que certas propriedades dos sistemas biológicos só podem ser explicadas por aparatos teóricos e conceituais desta ciência, explicitando como ela não é redutível às outras duas.

Mais recentemente, a Teoria Organizacional da Autonomia (TOA) foi proposta e traz consigo a proposição de que os sistemas biológicos estão sujeitos a um regime causal ausente em outros sistemas, derivado do fechamento organizacional de restrições. À frente desta teoria estão Alvaro Moreno e Matteo Mossio (2015), que defendem uma abordagem em que os organismos são vistos como sistemas termodinamicamente abertos ao mesmo tempo em que exibem um fechamento de restrições, sendo este fechamento o que lhes garante o status de sistemas organizados e autônomos, capazes de gerar e modificar as regras que regem seu próprio funcionamento, conferindo-lhes agência e normatividade.

Com o objetivo de tratar não apenas dos aspectos funcionais da organização, mas também dos aspectos evolutivos, Moreno e Mossio (2015) explicitamente declaram que esperam que a TOA ajude a superar a dicotomia conceitual proposta por Mayr. De fato, as ideias de Mayr não passaram incólumes a críticas e as mais recentes e contundentes foram lideradas por Kevin Laland (Laland *et al*, 2011, 2013a, 2013b), um autor central na proposta de uma Síntese Estendida da Evolução. Essas críticas, entretanto, foram respondidas por Gustavo Caponi de forma que não apenas salva a distinção, mas a reinterpreta de forma que permite ampliar sua aplicação para além dos fenômenos a nível de organismo, no que diz respeito às causas próximas. Caponi (2013) aponta que o que diferencia as causas próximas das causas evolutivas não é a natureza em si de determinado fenômeno, mas quais os seus efeitos: se afetam apenas o funcionamento dos sistemas biológicos ou se afetam também a composição das linhagens. Assim, ele esclarece que a dicotomia deve ser entendida à luz de uma descontinuidade conceitual existente na biologia, que trata de sistemas e linhagens como arcaibouços conceituais diferentes e (até o momento) não passíveis de síntese, ainda que complementares (Caponi, 2016).

A TOA, no entanto, não levou as críticas de Laland e colaboradores, nem as respostas de Caponi em devida consideração, o que é não só um obstáculo a seu objetivo de superar a dicotomia proposta por Mayr, mas também, como mostraremos

neste trabalho, traz problemas em como a própria teoria trata alguns de seus conceitos centrais, como variação, função e a própria organização. O objetivo deste trabalho é, então, promover uma primeira aproximação entre a TOA e a descontinuidade conceitual entre a biologia de sistemas e a biologia de linhagens biológicas, contribuindo para a delimitação de alguns dos problemas que surgem ao não levar a descontinuidade em consideração. Esperamos, com isso, contribuir para que a TOA se torne filosófica e conceitualmente mais robusta, aprimorando sua capacidade de orientar investigações teóricas e empíricas.

O trabalho está estruturado da seguinte forma. Na segunda seção, trataremos da distinção entre a biologia funcional e a biologia evolutiva articulada por Mayr, expondo a principal crítica feita a ela por Laland e colaboradores, e a resposta de Caponi, mostrando como a distinção deve ser reinterpretada com base na descontinuidade entre as ordens conceituais da biologia de sistemas e da biologia de linhagens. Também delinearemos alguns aspectos em que as ordens conceituais diferem, como a composição, a possibilidade ou não de interação, e a possibilidade ou não de uma entidade ser dotada de variação.

Na terceira seção trataremos de como a falta de reconhecimento da distinção esclarecida por Caponi coloca um problema à abordagem adotada pela TOA para a definição e o papel da variação. Argumentaremos que o princípio teórico da variação formulado no âmbito da TOA considera a variação como um atributo de sistemas, quando na verdade ela é um atributo de linhagens. Concluímos que isso não traz problemas graves (até onde analisamos) à TOA, sendo uma falha facilmente corrigida pelo ajuste da linguagem utilizada na teoria.

Na quarta seção apontamos um problema mais grave. Analisando a defesa da abordagem unificada que a TOA oferece para tratar de funções intergeracionais e intrageracionais, concluímos que ela depende de uma interpretação da organização que, atualmente, não a coloca na ordem conceitual dos sistemas, nem na ordem conceitual das linhagens, mas que a enxerga, possivelmente como uma classe. Mostramos que isso traz problemas à TOA por não justificar como a organização seria, então, dotada do status ontológico que a TOA reivindica para ela enquanto

fechamento de restrições (um regime dotado de poder causal próprio e irreduzível às partes de um sistema)<sup>53</sup>.

Na última seção, tecemos nossas considerações finais.

### **A dualidade biologia funcional / biologia evolutiva e a descontinuidade conceitual entre sistemas e linhagens**

Ernst Mayr foi o maior proponente da distinção entre biologia funcional e biologia evolutiva, uma ideia que teve profundas implicações para como a biologia é entendida. Segundo ele, a biologia é composta de duas vertentes distintas, mas complementares: a biologia funcional explica as atividades que os organismos executam e apela para causas próximas, que frequentemente são modeladas como mecanismos que atuam no tempo de vida dos organismos; já a biologia evolutiva explica a origem das características dos organismos e apela para causas últimas (mais tarde chamadas de “causas evolutivas”, nomenclatura adotada no restante deste trabalho), que têm caráter histórico e atuam ao longo de gerações (Mayr, 1961, 1998, 2004). Em certo momento, Mayr chegou a definir a biologia funcional como aquela que lida com a decodificação do programa genético e a biologia evolutiva como o ramo da biologia que lida com a história e as mudanças pelas quais os programas genéticos passam (Mayr, 1988), mas essa visão profundamente reducionista não chegou a se tornar hegemônica na filosofia da biologia (o que consideramos positivo).

A distinção entre os dois tipos de causas tem sido questionada e uma das críticas mais influentes foi colocada por Laland e colaboradores (2011), que afirmam que atividades realizadas pelos organismos (como fenômenos ecológicos) ou suas partes (como fenômenos ontogenéticos) também possuem efeitos evolutivos ao afetar, por exemplo, as pressões seletivas que agem sobre estes mesmos organismos e a disponibilidade de variações. A dicotomia entre causas próximas e causas evolutivas, então, não seria mais útil e deveria ser abandonada em favor de uma visão que levasse em conta como fenômenos organizmicos e evolutivos

---

<sup>53</sup> É debatível se isso consiste em um estatuto ontológico ou epistemológico. Entretanto, este ponto não será tratado neste trabalho, uma vez que o que nos interessa é a visão atualmente adotada pelos proponentes da TOA.

interagem, caracterizando o que foi chamado de “causas recíprocas” (Laland e colaboradores, 2011, 2013a, 2013b).

Caponi (2013), porém, propõe que a distinção seja reformulada com base no entendimento de que todo fenômeno evolutivo envolve inexoravelmente fenômenos tradicionalmente entendidos como próximos. Porém, diferente de Ariew (2003), ele não defende que fenômenos evolutivos são simplesmente a soma estatística de fenômenos próximos. Ou seja, fenômenos evolutivos dependem de fenômenos próximos, mas não são redutíveis a eles. Para Caponi, a distinção entre as causas se dá a partir da identificação de onde seus efeitos podem ser percebidos: as causas evolutivas são aquelas que afetam a *composição* das *linhagens* biológicas, enquanto causas próximas não afetam tal composição, mas apenas interferem nos estados dos *sistemas* biológicos (Caponi, 2008). Assim, o mesmo fenômeno (ou conjunto de fenômenos), como minhocas escavando o solo, pode ser entendido como causa próxima (ao modificar os fatores ecológicos que afetam a vida das minhocas, a exemplo da porosidade do solo e sua taxa de umidade), mas também como causa evolutiva (se afetar de maneira diferencial as chances de sobrevivência dos indivíduos de uma população dotada de variabilidade, acentuando ou relaxando uma pressão seletiva e interferindo na composição da linhagem ao reduzir a proporção de certas variantes e aumentar a de outras). Devemos ressaltar que a distinção entre as causas, como posta por Caponi, não assume a forma de uma dicotomia entre classes de fenômenos, como Mayr parecia entender, mas uma dicotomia entre *efeitos*.

Reformular a distinção nestes termos significa colocar em foco a distinção entre dois objetos de estudo da biologia: os sistemas e as linhagens biológicas. Caponi esclarece essa distinção mostrando que cada um dos objetos é tratado em uma ordem conceitual própria e que há uma descontinuidade entre as duas ordens. Para entender essa descontinuidade, devemos reconhecer que a partir da ascensão da sistemática filogenética, os táxons passaram a ser entendidos como linhagens, entidades concretas produzidas pela evolução e sujeitas a mudanças evolutivas, e não como classes (ou tipos) nas quais os organismos são incluídos apenas por compartilharem características entre si (Caponi, 2021). De forma a melhor definir o que se entende por linhagem, Caponi diferencia a reprodução malthusiana da reprodução ontogenética. Na primeira, são gerados organismos passíveis de competirem entre si e que, portanto, não compartilham o mesmo destino evolutivo; já



na segunda, são geradas, por exemplo, as células que compõem um organismo multicelular e que não competem entre si, compartilhando o mesmo destino evolutivo (Caponi, 2021). Ainda que a reprodução ontogenética torne legítimo o uso da expressão “linhagem celular”, ela deve ser vista como a produção dos componentes de um sistema (o que é importante em áreas específicas, como a biologia evolutiva do desenvolvimento) (Caponi, 2016) e não como o surgimento de linhagens evolutivas relevantes. Dito isso, é válido considerar que as linhagens menos abrangentes são as populações de organismos consideradas enquanto entidades capazes de evoluir (ou seja, demes), ao passo em que táxons que vão de subespécie a reino formam linhagens mais abrangentes (Caponi, 2021).

Tratando os táxons como linhagens evolutivas, Caponi (2016) esclarece que, no âmbito da sistemática filogenética, um táxon é um indivíduo, fruto único de processos evolutivos. Os táxons guardam diferenças significativas com outro tipo de indivíduo que é objeto de estudo da Biologia: o sistema. Uma dessas diferenças é o modo de incorporação, ou a relação entre parte e todo. Os táxons são compostos hierarquicamente de táxons cada vez mais específicos e, reconhecendo que espécies são linhagens de populações, os organismos individuais de uma certa população são componentes de sua espécie na condição de *espécimes*. É relevante que se diga que isso não é o mesmo que dizer que um táxon é uma classe e que os organismos são instâncias desta classe, pois o critério para a inclusão de um espécime em um táxon é a relação de descendência entre ele e outro espécime deste mesmo táxon, e não um critério puramente lógico ou advindo da teoria dos conjuntos.

Essa relação entre parte e todo, porém, é diferente, por exemplo, da relação entre um organismo e uma parte que o compõe. Organismos, enquanto sistemas, também são compostos hierarquicamente por subsistemas e, em seu nível mais restritivo, por partes. Para esclarecer este ponto, Caponi cita, como exemplo, o fato de que a espécie *Panthera leo* é uma sublinhagem do gênero *Panthera*, e uma pantera individual é um espécime de ambas as linhagens. Entretanto, o esôfago dessa pantera individual é um subsistema deste indivíduo, e não uma sublinhagem dele, nem um espécime da espécie *Panthera leo*.

Uma consequência desse raciocínio é que apenas linhagens podem possuir variantes. As partes que compõem um sistema individual não são variantes deste sistema individual, mas dois organismos de uma mesma linhagem podem ser

considerados variantes desta linhagem (caso apresentem diferenças entre si). Indo além, uma linhagem pode mudar por conta do surgimento ou eliminação de variantes que alteram sua composição e, portanto, evoluem. Mas um sistema que muda ao longo do tempo (seja crescendo, senescendo ou se desenvolvendo) não é uma variante de si mesmo em diferentes momentos de sua vida. Este ponto será de grande relevância na próxima seção deste trabalho, por isso ressaltamos: só é possível identificar variantes observando pelo menos dois sistemas que integram uma mesma linhagem, e não observando o mesmo sistema individual ao longo do tempo ou as partes que o compõem.

Outro ponto apontado por Caponi ajuda não só a diferenciar linhagens de sistemas como também a entender por que as linhagens (enquanto táxons) são tão facilmente confundíveis com classes ou tipos. A existência de uma das partes de um sistema não significa que o sistema em si continue existindo. Mas a existência de um único espécime vivo é o suficiente para garantir a continuidade de todos os táxons e subtáxons aos quais ele pertence. Da mesma forma, a existência de um único elemento de uma classe ou tipo é o suficiente para se afirmar que ela não é um conjunto vazio. Este ponto será de relevância na quarta seção deste trabalho.

A integração causal entre o todo e as partes de uma entidade individual também é algo que está ausente nas classes, mas presente tanto em linhagens, quanto em sistemas, embora de forma diferente nestes dois últimos. Enquanto nos sistemas há interação entre as partes (na forma de troca de matéria e energia), o mesmo não acontece nas linhagens, em que a integração se dá na forma de relações genealógicas (Caponi, 2016). Caponi resalta que um aspecto relevante para reconhecer essa diferença é que em um sistema sempre há interdependência entre as partes constituintes, e o que afeta os estados e funções de cada parte também afeta (em maior ou menor grau) o estado e o desempenho de outras partes e do sistema como um todo. Tal aspecto está ausente nas linhagens: o que acontece com a espécie *Tapirus indicus*, por exemplo, em nada afeta as outras espécies deste mesmo gênero (e só afetará as linhagens mais abrangentes das quais ela faz parte caso *T. indicus* deixe de existir ou sofra especiação, modificando a composição do gênero e, por consequência, das linhagens representadas nos níveis taxonômicos superiores a gênero).

Este ponto merece mais atenção. Organismos individuais e populações estão inseridos tanto na hierarquia de sistemas, quanto de linhagens: de organismos

individuais a ecossistemas, por um lado, e de espécimes a demes e táxons mais abrangentes, por outro (MacMahon *et al*, 1978, Pickett *et al*, 2007). Entender essa dupla inserção é essencial para entendermos as relações entre a ordem dos sistemas e a ordem das linhagens, e como fenômenos ecológicos e até mesmo fisiológicos podem figurar na explicação de efeitos tanto na primeira quanto na segunda ordem (Caponi, 2016). É exatamente este aspecto que Caponi (2013) esclarece em sua resposta a Laland e colaboradores (2011). Segundo esta visão, a crítica de Laland falha por não levar em conta essa dupla inserção, o que faz com que a caracterização das causas recíprocas transite de forma desavisada entre as duas ordens conceituais. O tratamento que Laland e colaboradores (2011, 2013a, 2013b) dão às causas recíprocas só faria sentido se houvesse interação entre organismos ou populações (enquanto sistemas) e linhagens (na forma de demes). Essa interação, porém, é impossível. Enquanto organismos e populações possuem existência material (e, portanto, a capacidade de interagir na forma de trocas de matéria e energia com outras entidades materiais) as linhagens não a possuem, mas são representadas em sistemas ecológicos por grupos de organismos que podem ser considerados seus *avatars*. Estes, sim, são capazes de interagir com o ambiente e com outros organismos e populações que atuam como avatares de outras espécies. Uma análise mais aprofundada deste tópico foge aos objetivos deste trabalho, mas os leitores interessados podem consultar Caponi (2016) para mais detalhes sobre a dupla inserção de organismos e populações e sobre os avatares.

A capacidade de interação está relacionada ao último aspecto apontado por Caponi (2016), para o qual gostaríamos de chamar atenção: a diferença entre partes e caracteres. Uma parte é um componente de um sistema, tendo existência física e sendo capaz de interagir trocando matéria e energia com outras entidades que também possuem existência física. Caracteres, por outro lado, são atributos de linhagens: o fato de ter ou não ter certa parte ou até mesmo configuração diferente de partes. A consequência de reconhecer esta diferença é entender que caracteres não possuem existência física e são incapazes de interação: a ausência de patas é um caractere da linhagem das cobras, por exemplo (Caponi, 2016) e comer a perna de uma galinha equivale a comer uma parte de um sistema individual, não um caractere da linhagem *Gallus gallus domesticus* (Caponi, 2011). Ainda que a perna

seja removida de um sistema individual, a presença de pernas ainda é um caractere da linhagem da qual ele é um espécime.

Com essas diferenças postas, podemos observar a TOA de Moreno e Mossio (2015) e entender como ela aborda aspectos funcionais e evolutivos da organização. Como esperamos demonstrar nas próximas seções, a falta de clareza entre as diferenças entre linhagens e sistemas pode levar a confusões conceituais e à atribuição de aspectos de uma ordem à outra.

### **A Teoria Organizacional da Autonomia e o papel atribuído à variação.**

Um conceito central à TOA é o de restrição. Mossio e colaboradores (2016) definem restrições como entidades (eg.: condições limítrofes, parâmetros, configurações espaciais, forças físicas externas, estruturas materiais internas ao organismo) que agem sobre processos (que são eventos que envolvem alteração, consumo, produção e/ou constituição de entidades). Entretanto, essas entidades são inalteradas pelos processos sobre os quais elas agem, contribuindo para determinar o comportamento de um sistema ao reduzir os graus de liberdade dos processos e das dinâmicas sobre os quais elas agem.

Para uma compreensão adequada do conceito de restrição, temos que considerar a escala temporal em que a observação é realizada: na escala de tempo do processo restringido, a entidade que atua como restrição não está sujeita ao fluxo termodinâmico e não é modificada pelo processo que ela restringe (ou ocorre uma modificação numa escala de tempo ainda menor, mas que logo é revertida), mas, numa escala de tempo maior, ela está sujeita a este fluxo e pode se degradar (Moreno e Mossio, 2015). Assim sendo, para que uma restrição continue existindo, ela deve ser reparada pela ação de outra restrição. O que caracteriza os organismos, segundo a TOA, é o fato deles possuírem organização na forma de um fechamento de restrições: toda restrição depende de pelo menos uma outra restrição ao mesmo tempo em que mantém (ou possibilita) ao menos uma outra restrição que compõe o fechamento (Moreno e Mossio, 2015).

É essa caracterização que faz com que a TOA seja uma teoria da organização biológica: o fechamento de restrições está ausente em sistemas não biológicos. E, uma vez que a organização biológica é caracterizada a partir do conceito de

restrição, somos forçados a reconhecer que a TOA trata, prioritariamente, do fluxo termodinâmico e, portanto, opera prioritariamente na ordem conceitual da biologia de sistemas. Entretanto, da mesma forma que qualquer parte, atributo ou propriedade dos sistemas biológicos pode ser estudada enquanto causa próxima e também enquanto causa evolutiva (a depender, como já vimos, a que tipo de fenômeno estamos atribuindo seus efeitos) o mesmo vale para a organização e para as próprias restrições.

De fato, Moreno e Mossio (2015) argumentam que “mecanismos evolutivos operam porque estão corporificados [*embodied*] na complexa organização dos organismos” (p. XXI) e por isso toda explicação evolutiva pressupõe a existência de organismos. A compreensão da vida, porém, depende do reconhecimento de que, para que seja sustentável a longo prazo, a organização deve ganhar complexidade por um processo histórico cumulativo, o que envolve um grande número de sistemas individuais vinculados entre si por meio da reprodução ao longo de um grande número de gerações (Moreno e Mossio, 2015). Ou seja, a organização também deve evoluir. Entretanto, ao propor reavaliar o conceito de evolução e seu papel à luz do conceito de organismo (e de organização), os autores afirmam que isso é uma tentativa de superar a dicotomia (com frequência vista também como oposição) entre causas próximas e causas últimas proposta por Mayr.

Mas se aceitarmos a reinterpretação da distinção entre causas segundo Caponi, vemos que os dois tipos de causa não são conflitantes, então não há necessidade de superar a dicotomia (ao menos com base nos argumentos propostos pelos críticos de Mayr até o momento). E se aceitarmos a análise de Caponi sobre as duas ordens conceituais da biologia e sua relação com os dois tipos de causa, percebemos que a dicotomia não só é útil, mas necessária para uma correta caracterização dos fenômenos biológicos. Assim, se faz necessária uma abordagem da TOA que leve em conta a dualidade de ordens conceituais da biologia e evite designar a entidades pertencentes a uma ordem atributos que são exclusivos de entidades da outra ordem.

Deixamos claro, entretanto, que isso não significa reduzir o papel do conceito de organismo para a compreensão dos fenômenos biológicos em qualquer uma das ordens conceituais. Moreno e Mossio (2015) ressaltam dois pontos que consideramos relevantes para entender a visão deles sobre a dualidade da biologia. O primeiro é que, ainda que a dimensão histórica seja essencial para a TOA, ela não

a define (este papel cabe à dimensões constitutiva e interativa dos sistemas), pois ela apenas torna possível entender de onde vêm os os sistemas biológicos, mas não o que eles são. É importante perceber como isso envolve duas perguntas que, ainda que relacionadas entre si, são conceitualmente distintas. O segundo ponto é que a evolução dos sistemas biológicos deriva da interação entre organização e seleção natural, sendo a primeira uma condição (e não apenas uma consequência) para a segunda. Esses dois pontos mostram que alguns dos aspectos da dualidade de ordens conceituais já mencionados por Caponi estão presentes nos fundamentos da TOA, ainda que outros estejam ausentes. A inclusão destes outros aspectos, defendemos, tornaria a TOA filosoficamente e conceitualmente mais robusta.

Um dos pontos em que a falta de distinção entre as duas ordens conceituais é perceptível é no tratamento que a TOA dá à variação. Montévil e colaboradores (2016) formalizam o princípio da variação com o intuito de acomodar no aparato da TOA uma abordagem sobre as mudanças pelas quais os organismos passam tanto durante a ontogênese quanto durante a filogênese, dando conta do papel da contingência e da historicidade introduzidos na biologia por Darwin. Mossio e colaboradores (2016) ressaltam a importância desse princípio para uma teoria do organismo, que deve tratar de como eles mantêm a estabilidade ao mesmo tempo em que devem ser capazes de mudar: as variações introduzem as mudanças enquanto a organização mantém a estabilidade ao reverter ou eliminar variações deletérias ao mesmo tempo em que mantém as úteis.

O princípio da variação afirma que organismos são objetos específicos porque as simetrias (ou seja, a estrutura matemática necessária para descrevê-los) mudam ao longo do tempo, sendo que mudanças qualitativas em estruturas e funções ocorrem e muitas delas não são previsíveis; na TOA, somente as variações na organização (adição ou remoção de restrições ou mudanças nas relações entre restrições já existentes) são consideradas relevantes e podem acontecer nos vários níveis de descrição dos sistemas, do molecular ao de grandes estruturas e funções; como consequência, duas instâncias de um organismo sempre podem ser diferentes em pelo menos um aspecto qualitativo relevante (Montévil *et al.*, 2016).

À primeira vista, esta caracterização parece tratar da variação como um atributo de linhagens (a partir de agora, “variação *strictu sensu*”), como apontado por Caponi: para reconhecer uma variação, é preciso observar pelo menos dois organismos da mesma linhagem. O mesmo pode ser percebido em Moreno e Mossio (2015),

quando eles afirmam que, apesar dos sistemas biológicos passarem por variações funcionais contínuas, um aspecto invariante é que eles sempre mantêm o fechamento de restrições, ainda que realizado em diferentes variantes.

Porém, essa visão não se sustenta ao longo da leitura dos trabalhos sobre a TOA. Mossio e colaboradores (2016) afirmam que o princípio se refere a diversos tipos de mudança, seja dentro da organização (aspectos quantitativos dos fluxos de matéria e energia) ou na própria organização (mudanças qualitativas, como inclusão ou remoção de restrições). Esta formulação é consistente com o objetivo declarado de abordar variações de forma unificada, tanto na ontogenia, quanto na filogenia (a partir de agora, “variação *lato sensu*”). Ao falar da necessidade da regulação para compensar variações induzidas por perturbações internas ou externas, Moreno e Mossio (2015) incluem mudanças na concentração dos componentes de uma reação como exemplo de variação *lato sensu*, sendo que perturbações podem se propagar pelas restrições da organização, “transmitindo variação”. Este tipo de pensamento claramente pertence à ordem dos sistemas, e não das linhagens.

Essa distinção entre aspectos da variação que podemos atribuir a cada uma das duas ordens conceituais, entretanto, nem sempre é facilmente perceptível nos escritos sobre a TOA. Ainda sobre a importância da regulação, Moreno e Mossio afirmam:

A organização biológica deve ser capaz de lidar com variações, e então conservar o fechamento, do contrário seria extremamente frágil e suas realizações no mundo natural dificilmente passariam de um nível muito baixo de complexidade organizacional. Qualquer perturbação provavelmente levaria o sistema à ruptura em vez de resultar em um aumento de complexidade. O que, então, é necessário para que a organização biológica não apenas permaneça estável face a perturbações, mas também seja capaz de aumentar de complexidade? Propomos que a resposta é regulação. A autonomia biológica requer fechamento regulado. (Moreno e Mossio, 2015, p. 30)

Este trecho é um exemplo de como a falta de uma distinção clara entre as duas ordens conceituais pode causar problemas. O aumento de complexidade acontece no organismo individual (enquanto sistema) ao longo de seu tempo de vida ou na linhagem, pelo acúmulo de mudanças ao longo de gerações? Que tipo de causas estão envolvidas no aumento de complexidade: apenas mudanças na organização de um sistema que não rompem o fechamento ou a seleção natural também deve estar envolvida? No caso de mudanças na organização que não são passadas

adiante na linhagem (como as que não se referem ao desenvolvimento normal de um organismo multicelular, por exemplo), elas são relevantes para a TA?

É razoável supor que o aumento de complexidade se dá pela alteração de uma instanciação específica de uma organização (o que pode ser explicada se apelando a causas próximas) que se torna uma alternativa a outras instanciações quando observamos a linhagem (ou seja, contribuindo para a existência de variação *strictu sensu*), podendo ser fixada na população (o que pode ser explicado se apelando para causas evolutivas). Isso em nada é diferente da abordagem da Síntese Evolutiva, aliando o surgimento de mutações genéticas (explicado por eventos moleculares, que podem ser estudados como causas exclusivamente próximas) à seleção natural para explicar a origem de caracteres em linhagens. Mas a comparação com a Síntese Evolutiva encontra seus limites: eventos de mudança genética que só têm efeitos relevantes na ontogênese, mas não na filogênese, são considerados objetos válidos de investigação pela Síntese Evolutiva. Se a TOA pretende ser útil na orientação de pesquisas biológicas, revelando que perguntas são válidas e quais os métodos adequados para respondê-las, ela deve ter o mesmo tipo de clareza.

Observando o caso da regulação com mais atenção, podemos desembaraçar as ideias: a regulação é entendida como a modulação da atividade de restrições constitutivas sob influência de um outro conjunto de restrições que não têm papel constitutivo, ajudando a preservar o fechamento de restrições do regime constitutivo, ou de primeira ordem, (Bich *et al.* 2016). Em última análise, a regulação contribui para preservar o fechamento entre o conjunto de restrições constitutivas e o próprio conjunto de restrições regulatórias, no que é considerado um fechamento de segunda ordem (Moreno e Mossio, 2015). Não podemos ignorar que a regulação envolve a interação entre as partes na forma de troca de matéria e energia, ou seja, se trata de um fenômeno que deve ser prioritariamente tratado na ordem conceitual da biologia de sistemas. Para observarmos o papel da regulação para o aumento da complexidade em linhagens, porém, devemos tratá-la como um caractere: a presença ou ausência da regulação nos espécimes tem consequências para os rumos evolutivos da linhagem, permitindo ou não o aumento da complexidade ao permitir ou não a manutenção da estabilidade de variantes *strictu sensu* da organização. Ou ainda, versões diferentes de mecanismos regulatórios



podem contribuir de maneiras diferentes para o sucesso reprodutivo das instanciações individuais da organização em que estão inseridas.

Há outros casos ao longo do trabalho de Moreno e Mossio (2015) em que a falta de distinção entre as duas ordens fica clara. A distinção entre caractere, parte ou, ainda, atributo dos representantes de uma classe está ausente ou pouco clara. O termo “variação” é utilizado, por exemplo, para se referir à mudança de simetrias matemáticas em um mesmo sistema; a mudanças nos valores que uma variável pode assumir (como concentração de uma substância) em um sistema individual, fazendo com que uma restrição seja vista como uma variante de si mesma no tempo; e a instanciações diferentes da mesma organização em sistemas individuais diferentes. Se aceitarmos o conceito de variação *strictu sensu*, apenas este último uso seria legítimo.

O problema do termo é relativamente trivial. Uma solução simples seria renomear o “princípio da variação” para “princípio da mudança”, uma distinção há encontrada, por exemplo, nos princípios fundamentais da teoria da biologia proposta por Scheiner (2010). Assim, o termo “variação” seria reservado para mudanças ocorridas na composição das linhagens. No mais, a crítica mais grave que podemos fazer ao tratamento que a TOA dá à variação é a falta do reconhecimento da distinção entre partes de sistemas e caracteres de linhagens. A ideia de manutenção de simetrias tem lugar na ordem conceitual da biologia de sistemas, mas não na de linhagens. Caracteres não interagem, logo, não estão sujeitos a simetrias. É possível descrever o funcionamento de partes (como funciona a perna de uma galinha, por exemplo), mas não de caracteres. Ao haver mudança de uma simetria, está havendo uma mudança no sistema individual e o surgimento de uma variação na linhagem (um novo formato de perna de galinha, por exemplo) que se converterá em um novo caractere se for fixada na linhagem ao passar por processos evolutivos.

Mossio e colaboradores (2016) afirmam que há uma tensão e uma complementariedade conceituais entre os princípios da variação e da organização que deverão ser futuramente tratadas com profundidade na TOA. A falta da distinção entre a ordem de sistemas e a ordem de linhagens poderá ser um fator de complicação para os avanços da teoria neste âmbito.

### **Função intergeracional e o status ontológico da organização**

O maior problema que a falta da distinção entre as ordens conceituais traz à TOA refere-se ao tratamento das funções intergeracionais. A abordagem organizacional de função (AO) trazida por ela busca superar a dicotomia entre as abordagens etiológica e disposicional de função. A abordagem etiológica justifica a atribuição funcional a um traço com base nos efeitos passados de sua existência e que explicam causalmente a atual presença do mesmo (Moreno e Mossio, 2015). Tendo entre seus maiores expoentes Larry Wright, as explicações funcionais etiológicas mais aceitas apelam para a história evolutiva de um traço com base na seleção natural (Nunes-Neto e El-Hani, 2009), operando na ordem conceitual da biologia de linhagens. Uma crítica frequente a esta abordagem é que ela explica a origem histórica de um traço, mas não a contribuição da parte para uma capacidade atual do sistema (Moreno e Mossio, 2015).

Já a abordagem disposicional tem entre seus maiores nomes Robert Cummins e que justifica a atribuição funcional com base na contribuição atual de uma parte para uma propriedade de um sistema atual (Nunes-Neto e El-Hani, 2009). Assim, ela opera na ordem conceitual da biologia de sistemas. A principal crítica a esta abordagem é que ela não distingue entre uma contribuição da parte que é de fato relevante para o sistema e os acidentes, ou seja, contribuições incidentais que não têm valor explicativo para nenhuma propriedade relevante do sistema (Moreno e Mossio, 2015). Indo além, a abordagem disposicional não estabelece sequer critérios que permitem identificar que propriedades do sistema são relevantes e requerem uma explicação funcional, não sendo possível distinguir que contribuições das partes para uma capacidade do sistema são de fato funções e quais são acidentes.

A AO supera essas críticas e oferece uma visão unificada de função, que permite tanto explicar a presença de um traço, sua contribuição para o sistema atual e quais contribuições são relevantes e merecem atribuição funcional. Nela, um traço tem função se for produzido pela própria organização da qual faz parte e se exercer uma atividade que atua como restrição sujeita a fechamento nesta mesma organização (Moreno e Mossio, 2015). Uma vez que a TOA reconhece o caráter teleológico da organização, que é o de manter o fechamento de restrições, apenas atividades realizadas pelas restrições que contribuem para que este fim seja atingido são passíveis de atribuição funcional, o que estabelece uma dimensão de

normatividade ao conceito de função ao mesmo tempo em que torna possível distinguir funções de acidentes. Mossio e Saborido (2016) ressaltam que a abordagem organizacional, portanto, é tanto disposicional quanto etiológica.

Esta abordagem opera muito bem dentro da ordem conceitual da biologia de sistemas, pois seu caráter etiológico não apela para fenômenos evolutivos, e sim para a contribuição do traço para a manutenção da organização, que, por sua vez, determina as condições de existência do traço (Mossio e Saborido, 2016). Isso é reforçado por Moreno e Mossio (2015) quando eles afirmam que a dimensão de normatividade do conceito de função advém do fato de que a atividade de um sistema que se automantém deve seguir certas normas, do contrário o próprio sistema deixaria de existir. Assim, seria razoável supor, à primeira vista, que o conceito de função na AO está atrelado a uma visão de organização que considera sua realização material, e não a organização de forma abstrata, como um caractere ou uma classe.

Mas isso, obviamente, não exclui a possibilidade de investigações sobre a organização na ordem conceitual da biologia de linhagens. É possível estudar a origem evolutiva das funções, comparar como as mesmas partes realizam funções diferentes em diferentes organizações etc. Mas a distinção entre as ordens deve ser deixada clara: do ponto de vista da biologia de linhagens, o que interessa é a forma, e não a matéria em si. Aqui, as funções são tratadas como caracteres e, como vimos no caso das patas da cobra, um caractere pode nem mesmo ter realização material.

Na AO há pelo menos um caso em que a falta da distinção se faz notar: o das funções intergeracionais. Uma vez que ela trata de indivíduos diferentes relacionados entre si por descendência, é evidente que o aparato conceitual da biologia de linhagens se faz necessário. Mas para que o tratamento das funções intergeracionais seja sólido e, como pretendem Moreno e Mossio (2015), seja dado a elas o mesmo tratamento dado às funções intrageracionais, é necessário conciliar a ordem conceitual dos sistemas e seu foco no fluxo termodinâmico com a ordem conceitual das linhagens, que abstrai este fluxo. A atual formulação que a AO dá para as funções intergeracionais falha em fazer isso.

Moreno e Mossio (2015) afirmam que a atribuição funcional pode ser dada a uma estrutura ou a seus efeitos (sendo o segundo caso provavelmente o mais preciso), mas que tratam das funções como referentes a traços e estruturas, de forma consistente com a literatura sobre o assunto e com a linguagem nela

comumente empregada. Trechos como este tornam mais clara a falta de distinção entre as duas ordens conceituais: o termo “traços” pode se referir tanto a caracteres quanto a estruturas (entendidas como partes de um sistema dotadas de existência física e sujeitas ao fluxo termodinâmico) e ambos são tratados da mesma forma. De fato, o uso do termo “traço” para se referir a restrições ao longo do livro mesmo em trechos que parecem tratar do funcionamento dos organismos individuais, ou instanciações da organização (e, portanto, operando na ordem conceitual dos sistemas) borra ainda mais a separação entre as duas ordens.

Moreno e Mossio (2015) esclarecem que um ponto central das funções intergeracionais é se uma função pode atravessar as fronteiras de um organismo individual e, mais especificamente, como um traço envolvido na reprodução, como o sêmen, pode ser funcional se ele contribui para manter a organização de um sistema do qual ele mesmo não é parte. Eles continuam sumariando que há dois grupos principais de formulações para funções intergeracionais na abordagem organizacional. A primeira, defendida por Schlosser (1998) e McLaughlin (2001) foca na autorreprodução do traço, e não do sistema como um todo, atribuindo função a estados ou processos causalmente necessários para a reprodução do próprio traço (entendido como um caractere). Assim, podemos afirmar que esta formulação opera na ordem conceitual da biologia de linhagens. Já a segunda formulação, defendida por Collier (2000) e Christensen e Bickhard (2002) atribui função a componentes que contribuem para a manutenção da organização de um sistema em nível mais alto, como linhagens reprodutivas, espécies, populações e comunidades biológicas, atribuindo a eles o mesmo status de sistemas autônomos atribuído ao organismo. Delancey (2006) critica essa abordagem citando as dificuldades de justificar esses sistemas como autônomos, uma vez que, diferente dos organismos, eles não possuem fronteiras claras, forma estável ou, ainda, fechamento organizacional facilmente discernível, entre outras coisas. Podemos adicionar a essa crítica o fato de que linhagens e espécies são entidades da ordem de linhagens e, portanto, não possuem existência física e não afetam o fluxo termodinâmico, logo, não faz sentido atribuir a eles o caráter de entidades autônomas.

Mas, como Moreno e Mossio (2015) ressaltam, seria possível identificar autonomia em sistemas ecológicos, como os ecossistemas, ainda que sejam

necessárias mais investigações neste sentido<sup>54</sup>. O ponto, continuam os autores, é que isso não seria necessário para se falar em funções intergeracionais, pois elas seriam caracterizadas, na TOA, da mesma maneira que as funções intrageracionais. Para isso, dizem eles, é necessária uma correta compreensão do que é de fato uma organização fechada que se automantém, levando em conta que suas fronteiras não se confundem com as fronteiras dos organismos individuais, sendo que organismos individuais e organização são conceitualmente diferentes. Eles lembram que:

Em nossa abordagem, traços funcionais são aqueles que, estando submetidos a fechamento, contribuem para a manutenção de uma organização, que, por sua vez, exerce alguma influência causal na produção e manutenção dos traços. (Moreno e Mossio, 2015, p.78)

E continuam afirmando que a organização se auto mantém ao longo do tempo e que essa dimensão não deve ser ignorada: a todo momento ao longo da vida de um organismo individual há mudanças e modificações materiais, estruturais e morfológicas, mas ainda assim a organização é a mesma, e não uma nova organização a cada momento. Assim, essas mudanças são irrelevantes e a dimensão temporal deve ser abstraída para que a atribuição funcional faça sentido, pois o que importa é a continuidade do fechamento organizacional. No sentido de que é a organização, e não o sistema individual, o que importa, eles prosseguem:

Funções intergeracionais estão sujeitas a fechamento dentro de organizações que se auto mantêm cuja extensão no tempo vai além do tempo de vida de organismos individuais. Por exemplo, ao inseminar o óvulo, o sêmen de um mamífero contribui para a manutenção da organização ao contribuir para a produção de um novo organismo individual para substituir o anterior. Por sua vez, a organização (que consiste na conjunção do sistema reprodutor com o sistema reproduzido) exerce várias restrições sob as quais o sêmen é produzido e mantido. O ponto crucial é que a organização do sistema constituído pela conjunção do organismo reprodutor com o organismo reproduzido (neste caso específico, uma linhagem mínima com dois elementos) tem exatamente o mesmo status, em termos de automanutenção, que o dos próprios organismos individuais (Moreno e Mossio, 2015, p.79).

O problema, a nosso ver, é exatamente a extensão da ideia de continuidade do fechamento do organismo individual para a conjunção entre dois organismos relacionados por descendência. Ao tratar do fechamento no organismo, A TOA está tratando da propriedade de um sistema: o fechamento de restrições observado

---

<sup>54</sup> Nosso laboratório vem desenvolvendo uma abordagem de função em sistemas ecológicos que traz avanços neste sentido. Ver, por exemplo, Nunes-Neto e colaboradores (2014) e Cooper e colaboradores (2016).

naquele *token* da organização mantém a existência daquele *token*. Mas, ao tratar da conjunção, o fechamento está sendo considerado como um caractere (já que a necessidade de tratá-la como um sistema ecológico, como uma população, foi descartada anteriormente por Moreno e Mossio): a organização é entendida de forma abstrata, não se referindo a um *token* específico. A passagem de uma ordem conceitual para a outra é feita inadvertidamente. Como já argumentamos, só é possível ancorar a ideia de fechamento de restrições ao fluxo termodinâmico ao tratá-lo como propriedade de um sistema, não como um traço de uma linhagem.

A primeira consequência de reconhecer isso seria admitir que a AO não cumpre seu objetivo de prover um único tratamento às funções intra e intergeracionais: ao falar das funções intergeracionais, ela apelaria unicamente para o aspecto etiológico, para a origem do traço, não dando conta, de fato, do aspecto sistêmico (sendo, neste sentido, oposta à abordagem de Christensen e Bickhard [2002]).

A segunda consequência afetaria o status ontológico da organização. O compromisso com a termodinâmica e o caráter interativo das partes do sistema daria à organização um status de propriedade do sistema. O foco no caráter abstrato (ou na forma) da organização que se realiza em diferentes organismos em uma linhagem daria a ela um status de caractere, que coloca a termodinâmica em segundo plano. Uma terceira opção seria considerar a organização como uma classe ou tipo, da qual as realizações materiais seriam instâncias. Há pelo menos um trabalho que trata da AO que nos dá elementos para avaliar se ela estaria sendo (inadvertidamente ou não) caracterizada como uma classe.

Artiga e Martinez (2016) criticam AO afirmando que ela seria apenas mais uma versão da abordagem etiológica de funções que explicaria a manutenção de um traço na linhagem (uma crítica mais aprofundada do que a que delineamos acima). Partindo dos requisitos para que seja atribuída uma função a uma parte do sistema<sup>55</sup> (contribuir para a manutenção da organização e ser mantido pela mesma organização, numa alça causal) eles argumentam que a ideia de função intergeracional não se sustenta ao olhar para a organização como um atributo de um token, pois nenhuma parte (a exemplo do sêmen) contribuiria para a manutenção do token à qual pertence, e sim de outro token da mesma organização. Mas, se a atribuição funcional depende da atividade da parte, a única saída seria olhar para ela

<sup>55</sup> Artiga e Martinez utilizam o termo “traço” e falam em “token” para se referir a um exemplar físico do traço. Preferimos reservar o primeiro termo para quando no referirmos à ordem conceitual das linhagens, e tratar o token como uma parte do sistema. Isso, porém, não traz prejuízo ao entendimento do argumento dos autores.

ao longo das gerações, como um caractere, e atribuir a função ao caractere, não à parte, pois ele contribui para a manutenção da linhagem de indivíduos que produzem as partes. Assim, como já argumentamos, podemos concluir para os fins deste trabalho que isso significa dizer que a ideia de função intergeracional não encontra lugar na ordem conceitual de sistemas, mas na de linhagens.

Mas Artiga e Martinez (2016) vão além. Eles afirmam que partes às quais se atribuem funções intrageracionais (como o coração) também contribuem para a manutenção das linhagens (pois, ao contribuir para a manutenção do organismo, mantém, por extensão, a linhagem). E, afirmando que não há bons motivos explícitos na AO para ter critérios diferentes para atribuir função aos dois tipos de parte (a linhagem, no caso do sêmen, e o organismo individual, no caso do coração), eles continuam argumentando que, no fim, o que importa é a linhagem, concluindo que a AO é uma versão da abordagem etiológica. Os autores chegam a afirmar que ela incorre em epifenomenalismo, uma vez que a presença de uma parte em um token da organização não é explicada pela contribuição dela para aquele token específico, mas pela contribuição da outra parte (exemplar do mesmo traço) em um token anterior da mesma organização.

Em resposta, Mossio e Saborido (2016) afastam a crítica de epifenomenalismo, mas isso não vem sem um preço. Eles esclarecem como compreendem a natureza da organização e como a manutenção da organização dever ser entendida. Eles afirmam que a AO não baseia seu caráter etiológico apelando para a seleção natural (logo, não apela para as linhagens), mas apelando para a organização individual de cada organismo. Assim, segundo nossa análise, se estaria operando na ordem conceitual dos sistemas, em nossa análise. Entretanto, eles também ressaltam que um sistema é dotado de organização por causa de uma conexão causal e material com um sistema anterior dotado da mesma organização, o que permite afirmar que ambos são instâncias de uma mesma organização mais abrangente. Um ponto crucial para entendermos como isso coloca um problema para a análise das ordens conceituais é que eles afirmam logo em seguida que o sistema organizado mais abrangente, ainda que possa ser visto como uma linhagem, não é analisado pela AO como tal.

Mossio e Saborido seguem esclarecendo que, num fechamento, não é possível descrever a relação de dependência entre as restrições de um organismo individual sem abstrair o tempo porque, a cada momento, as partes que exercem as restrições

já não são mais exatamente as mesmas (materialmente falando, pois estão sujeitas ao fluxo termodinâmico) que no momento anterior. O que se mantêm são as restrições e os padrões na cadeia de dependência de restrições. Porém, Mossio e Saborido continuam o argumento afirmando que a dimensão temporal também pode ser abstraída para justificar a aplicação da AO na definição de funções intergeracionais. Segundo eles, a cadeia de dependência entre as restrições se estende no tempo para além dos limites de um sistema individual e até mesmo para além dos limites de uma única geração. Eles afirmam ainda que:

Crucialmente, o fato de que a partir da mesma cadeia de dependências se pode também descrever uma sucessão de organismos distintos ligados por uma relação de produção é completamente irrelevante aqui: eles serem uma sequência de sistemas reprodutores e reproduzidos, que eventualmente gera uma linhagem, não tem papel algum na atribuição de funções intergeracionais a partir de uma perspectiva organizacional. Na organização mais abrangente, não há sistemas reprodutores ou reproduzidos: há apenas uma organização que se auto mantém, que mantém funções (que em outros aspectos poderiam ser chamadas de intergeracionais, por exemplo, as funções do esperma e do óvulo) e é mantida por elas – exatamente como qualquer organismo individual mantém suas restrições funcionais e é mantido por elas (Mossio e Saborido, p.269).

Neste trecho, o foco deixa de ser o organismo individual enquanto token de uma organização. Mas também está explícito que não passa a ser a linhagem. Assim, a que ordem conceitual está sendo atribuída a organização? Nossa suspeita é que, nesta caracterização, a organização passaria a ser uma classe ou tipo. Mossio e Saborido afirmam logo em seguida que o que importa para caracterizar a organização mais abrangente é que as relações de dependência entre as restrições sejam mantidas e que continuem existindo iterações que instanciem o padrão de relações entre as restrições. Além disso, “a descontinuidade que é relevante para descrever a relação de produção entre elas (a reprodução)” (p. 269) seria irrelevante. Ao afirmar que a reprodução não tem papel na caracterização da continuidade da organização, o aspecto termodinâmico (ou seja, a interação entre as partes do sistema reprodutor e a matéria e energia empregados para produzir o sistema reproduzido) acabou inadvertidamente sendo descartado. A caracterização da organização enquanto caractere de uma linhagem também. Assim, só restaria entender a organização como uma rede de dependências entre restrições de um ponto de vista completamente abstrato, das quais os organismos presentes no



mundo real seriam “meramente” tokens e aos quais se atribui um papel secundário na caracterização da própria organização.

De fato, Mossio e Saborido chegam a afirmar que a dimensão etiológica das funções é interpretada como “[...] o fato de ser o alvo de relações de dependência em um diagrama abstrato de fechamento organizacional” (p. 272). A existência da parte à qual se atribui função é explicada pela rede de dependência entre restrições, que pode ser descrita sem considerar o aspecto temporal. Eles ressaltam que isso se refere às condições necessárias para *atribuir* função, que são diferentes das condições necessárias para descrever a *execução* da função (que exigem a consideração da dimensão temporal). Assim, para descrever as relações de dependência, pode-se recorrer às dependências que ocorreram no passado, que ocorrem no presente e que ocorrerão no futuro. Novamente, este tipo de tratamento só é possível se a organização for vista como uma classe ou tipo, uma vez que a possibilidade dela ser um caractere foi previamente descartada.

Porém, os questionamentos sobre o status da organização não são levados em conta por Mossio e Saborido. Em sua crítica, Artiga e Martinez (2016) falam sobre a dificuldade de individuar um traço funcional: a atribuição funcional deve dada ao token (parte de um sistema individual) ou ao tipo do qual os tokens são instanciações? Mossio e Saborido (2016) afirmam explicitamente que a atribuição funcional independe deste tipo de caracterização (ainda que reconheçam uma possível relevância deste tópico para a discussão sobre malfunção). Eles adicionam que tanto no caso das funções intrageracionais quanto das funções intergeracionais, a caracterização também é irrelevante enquanto os traços puderem ser integrados a uma descrição abstrata do fechamento organizacional.

Discordamos dessa posição por dois motivos. O primeiro deles é que isso coloca uma dificuldade à atribuição funcional quando surgir uma variação *strictu sensu* na organização. Se uma determinada parte (ou traço, na linguagem mais comumente utilizada) de um sistema individual passa a realizar uma atividade diferente do habitual, modificando ou introduzindo uma nova restrição na organização, obviamente vai ser atribuída a ela uma nova função se a atribuição funcional for dada a um token. Porém, se a atribuição funcional se referir a um tipo, teremos pelo menos dois tokens do traço (um no sistema variante e outro em qualquer outro sistema individual que não foi modificado) exercendo restrições

diferentes. A atribuição funcional dada ao token variante, entretanto, seria a mesma que do token tradicional, o que não faz nenhum sentido.

O segundo motivo é que o conceito de função é atrelado ao conceito de organização. Moreno e Mossio (2015) afirmam que o fechamento de restrições é um fechamento de funções, uma vez que a funcionalidade é atribuída aos efeitos causais de uma restrição na manutenção do fechamento organizacional. Assim, ao tratar da função como uma classe, se está também tratando a organização como uma classe. Retornamos então ao ponto do status ontológico da organização: ela teria alguma existência objetiva se tratada como classe? Também em Moreno e Mossio (2015) encontramos a caracterização da organização como uma configuração emergente, irreduzível ontologicamente e dotada de poderes causais próprios. A nosso ver, isso só seria facilmente justificável ao se situar a organização na ordem conceitual dos sistemas. Até onde sabemos, faltam nos trabalhos sobre a AO (e sobre a TOA como um todo) um tratamento claro sobre este tema e argumentos que justifiquem como uma classe (e não seus tokens individuais) seria dotada destes mesmos atributos.

Assim, a Teoria da Autonomia se coloca na posição de escolher entre:

1. Evitar a caracterização da organização como classe e admitir que ela não dispõe, atualmente, de uma abordagem unificada que permita tratar de funções intergeracionais nos mesmos termos que as funções intergeracionais;
2. Priorizar o caráter termodinâmico da organização e seu status ontológico de propriedade dos sistemas biológicos, colocando o foco da teoria na ordem conceitual da biologia dos sistemas, formulando um tratamento para as funções intergeracionais que se encaixe nesta ordem, e repensando como a teoria se relaciona com a biologia de linhagens (inclusive como as variações são entendidas);
3. Adotar explicitamente uma visão que dá à organização um status ontológico de caractere, focando numa abordagem que permita explicar como a atribuição funcional se mantém ao longo das gerações e repensando o tratamento do caráter termodinâmico dado às realizações materiais do caractere, que deixaria de ser um aspecto central da teoria;
4. Formular uma abordagem explícita da organização enquanto classe, deixando, novamente, o caráter termodinâmico em segundo plano, mas

salvando o tratamento unificado de funções intrageracionais e intergeracionais.

### **Considerações finais**

Caso o objetivo da Teoria Organizacional da Autonomia de contribuir para a superação da dicotomia entre biologia funcional e evolutiva se mantenha, terá que começar reconhecendo a distinção entre linhagens e sistemas nos termos propostos por Caponi e localizando seus próprios elementos nas ordens conceituais de sistemas, linhagens e, possivelmente, de classes. A partir daí seria possível argumentar como ela permite superar a descontinuidade conceitual entre sistemas e linhagens e de que forma isso seria frutífero para o pensamento biológico.

Até lá, a TOA se beneficiaria mais em reconhecer as dificuldades do que desconsiderar a descontinuidade entre as ordens conceituais que coloca para seu tratamento sobre a variação e as funções intergeracionais. No primeiro caso, alguns problemas por nós identificados são a atribuição errônea da variação a sistemas e uma caracterização da regulação biológica que pressupõe a interação entre entidades pertencentes à ordem conceitual das linhagens e entidades pertencentes à ordem conceitual dos sistemas (incorrendo no mesmo erro que Laland e colaboradores [2011, 2013a, 2013b] ao caracterizar as causas recíprocas).

Já no segundo caso, ao assumir que tratamento dado às funções intergeracionais se aplica também às funções intrageracionais, a abordagem organizacional de funções construída no âmbito da TOA coloca em risco o status epistemológico que ela atribui à organização ao formular um conceito de função que se pretende desassociado dos sistemas e das linhagens. Assim, só resta à TOA colocar a organização na ordem conceitual das classes, o que ameaçaria (no mínimo, colocando em dúvida) sua caracterização como dotada de poder causal. Isso obriga a AO a repensar o tratamento dado às funções intergeracionais sob pena de renunciar a qualquer afirmação sobre a objetividade do fechamento de restrições.

A TOA é complexa e repleta de sutilezas. Nossa experiência, tanto em nosso grupo de pesquisa quanto no ensino em nível superior, mostra que ela é de difícil compreensão e que pouca familiaridade com ela leva a vários mal-entendidos, muitos deles já esclarecidos na literatura. Uma compreensão apropriada da teoria

demanda bastante tempo e perspicácia para identificar essas sutilezas. Acreditamos que, para facilitar a comunicação da teoria e até mesmo evitar críticas infundadas, a relação da teoria com a dualidade conceitual da biologia deve ser mais bem explorada e colocada de maneira explícita.

## Referências

ARIEW, A. Ernst Mayr's "ultimate/proximate" distinction reconsidered and reconstructed. **Biology & Philosophy**, v. 18, n. 4, p. 553–565, 2003.

ARTIGA, M.; MARTÍNEZ, M. The Organizational Account of Function is an Etiological Account of Function. **Acta Biotheoretica**, v. 64, n. 2, p. 105–117, 2016.

BICH, L.; MOSSIO, M.; RUIZ-MIRAZO, K. *et al.* Biological regulation: controlling the system from within. **Biology & Philosophy**, v. 31, n. 2, p. 237–265, 2016.

CAPONI, G. La biología evolucionaria del desarrollo como ciencia de causas remotas. **Signos Filosóficos**, v. 10, n. 20, p. 121–142, 2008.

\_\_\_\_\_. Las apomorfias no se comen: diseño de caracteres y funciones de partes en Biología. **Filosofia e História da Biologia**, v. 6, n. 2, p. 251–266, 2011.

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

\_\_\_\_\_. Lineages and Systems - A Conceptual Discontinuity in Biological Hierarchies. *In*: ELDREDGE, N.; PIEVANI, T.; SERRELLI, Emanuele; *et al* (Orgs.). **Evolutionary theory: a hierarchical perspective**. Chicago: University of Chicago Press, 2016, p. 47–62.

\_\_\_\_\_. El concepto evolucionario de linaje. **Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia**, v. 20, n. 41, p. 11–39, 2021.

COLLIER, J. Autonomy and process closure as the basis for functionality. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 901, n. 1, p. 280-290, 2000.

COOPER, G. J.; EL-HANI, C. N.; NUNES-NETO, N. F. Three approaches to the teleological and normative aspects of ecological functions. *In* **Evolutionary theory: A hierarchical perspective**, p. 103-124, 2016.

CHRISTENSEN, W. D.; BICKHARD, M. H. The process dynamics of normative function. **The Monist**, v. 85, n. 1, p. 3-28, 2002.

DELANCEY, C. S. Ontology and teleofunctions: A defense and revision of the systematic account of teleological explanation. **Synthese**, v. 150, n. 1, p. 69-98, 2006.

LALAND, K. N.; ODLING-SMEE, J.; HOPPITT, W. *et al.* More on how and why: cause and effect in biology revisited. **Biology & Philosophy**, v. 28, n. 5, p. 719–745, 2013a.

LALAND, K. N.; ODLING-SMEE, J.; HOPPITT, W. *et al.* More on how and why: a response to commentaries. **Biology & Philosophy**, v. 28, n. 5, p. 793–810, 2013b.

LALAND, K. N.; STERELNY, K.; ODLING-SMEE, J.; *et al.* Cause and Effect in Biology Revisited: Is Mayr's Proximate-Ultimate Dichotomy Still Useful? **Science**, v. 334, n. 6062, p. 1512–1516, 2011.

MACMAHON, J. A.; PHILLIPS, J. L.; ROBINSON, J. V. *et al.* Levels of Biological Organization: An Organism-Centered Approach. **BioScience**, v. 28, n. 11, p. 700–704, 1978.

MAYR, E. Cause and Effect in Biology. **Science**, v. 134, n. 3489, p. 1501–1506, 1961.

\_\_\_\_\_. Is biology an autonomous sciences? *In*: **Toward a New Philosophy of Biology**. Harvard: [s.n.], 1988.

\_\_\_\_\_. **This is biology : the science of the living world**. [s.l.]: Belknap Press of Harvard University Press, 1998.

\_\_\_\_\_. **Biologia, ciencia única**. São Paulo: Schwarcz, 2004.

MCLAUGHLIN, P. **What functions explain**: Functional explanation and self-reproducing systems. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

MONTÉVIL, M.; MOSSIO, M.; POCHEVILLE, A. *et al.* 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.

MOSSIO, M.; SABORIDO, C. Functions, Organization and Etiology: A Reply to Artiga and Martinez. **Acta Biotheoretica**, v. 64, n. 3, p. 263–275, 2016.

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. 353–407, 2009.

NUNES-NETO, N. F.; MORENO, A.; EL-HANI, C. N. Function in ecology: an organizational approach. **Biology & Philosophy**, v. 29, n. 1, p. 123–141, 2014.

PICKETT, S. T.; KOLASA, J.; JONES, C. G. **Ecological understanding: the nature of theory and the theory of nature**. 2nd ed. Amsterdam; Boston: Elsevier/Academic Press, 2007.

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

SCHLOSSER, G. Self-re-production and functionality. **Synthese**, v. 116, n. 3, p. 303-354, 1998.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

Articular duas áreas tão ricas quanto a filosofia da biologia e currículo traz uma infinidade de possibilidades, mas também de armadilhas. É impossível fazer justiça a todas as sutilezas e complexidades que cada uma das áreas exige e com certeza há várias perguntas deixadas por responder e vários caminhos interessantes que este trabalho aponta e não foram explorados aqui. Entretanto, dado o tamanho da ambição do projeto de fornecer as bases para uma reestruturação de monta nos currículos de biologia, é de se esperar que muitas dessas demandas sejam atendidas em trabalhos futuros.

Em uma conversa, Carlos Sonnenschein perguntou se o trabalho que estou fazendo representaria uma continuidade ou uma revolução no ensino de Biologia. Ao adotar como uma de suas bases uma teoria do organismo (a do grupo ORGANISM) que pode ser considerada como contracultura no pensamento biológico atual, não posso negar que meu trabalho clame por uma revolução (por mais pretensioso que isso possa soar). Obviamente, nenhuma revolução é simples e fácil, mas todas elas começaram com pequenos passos. A proposta de critérios para a seleção de conteúdos conceituais de biologia gestada durante minha graduação e meu mestrado foi o primeiro passo. Esta tese é o segundo.

Os próximos passos deste projeto envolvem um esforço para a transposição didática das teorias aqui apresentadas. Entretanto, esta transposição será feita não com os estudantes do ensino médio em mente, e sim com professores de Biologia em formação. Assim, não só eles estarão informados sobre as teorias, mas poderão construir colaborativamente (em parceria com professores já em atividade e quando eles mesmos iniciarem suas carreiras docentes) os esforços de transposição para o ensino médio e currículos inspirados nas ideias aqui apresentados.

O esforço de transposição já está iniciado. O texto do primeiro artigo desta tese foi pensado para, na medida do possível, tornar as ideias mais acessíveis para leitores menos familiarizados com os vários temas de filosofia da biologia. Idealmente, ele seria escrito de forma que até mesmo professores e formadores de política sem formação na área, pudessem compreender todo o conteúdo. Isso explica, parcialmente, a grande quantidade de notas de rodapé com explicações e exemplos, além das qualificações necessárias a diversos argumentos. Infelizmente, não posso dizer que obtive grande sucesso neste esforço. A exposição da

abordagem do grupo ORGANISM ainda está um tanto compactada. Entretanto, alguns trechos (como aquele em que explico o que é uma simetria teórica, uma ideia estranha à maior parte dos biólogos) já constituem ensaios de transposição mais avançados que podem ser mais bem elaborados em publicações futuras.