UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

BEATRIZ CESCHIM

O EMPREGO DA TELEOLOGIA NA INTERPRETAÇÃO DA BIOLOGIA FUNCIONAL E EVOLUTIVA: UM ESTUDO A RESPEITO DE CONCEPÇÕES E DA EVOLUÇÃO CONCEITUAL DE ALUNOS DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

BAURU
2017

Beatriz Ceschim

O EMPREGO DA TELEOLOGIA NA INTERPRETAÇÃO DA BIOLOGIA FUNCIONAL E EVOLUTIVA:
Um estudo a respeito de concepções e da evolução conceitual de alunos de Licenciatura em Ciências Biológicas

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da Unesp / Campus de Bauru, como requisito à obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência, sob a orientação da Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira.

Bauru
2017

Ceschim, Beatriz

O emprego da teleologia na interpretação da biologia funcional e evolutiva: um estudo a respeito de concepções e da evolução conceitual de alunos de licenciatura em ciências biológicas / Beatriz Ceschim, 2017.

224 f. il.

Orientadora: Ana Maria de Andrade Caldeira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Bauru, 2017.

1. Seleção natural. 2. Ensino de evolução. 3.Teleologia. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

Beatriz Ceschim

O emprego da teleologia na interpretação da biologia funcional e evolutiva: um estudo a respeito de concepções e da evolução conceitual de alunos de licenciatura de ciências biológicas

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, área de concentração em Ensino de Ciências, da Unesp / Campus de Bauru, como requisito à obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência, sob a orientação da Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP – Campus Bauru - SP

Prof. Dr. João José Caluzi
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP – Campus Bauru - SP

Profa. Dra. Fernanda Aparecida Meglhioratti
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste – Cascavel - PR

Bauru, 13 de fevereiro de 2017

Para Daniela Bertolucci,

que partiu cedo demais, nos deixando somente as doces lembranças de uma época em que pudemos compartilhar do carinho e companheirismo da pessoa linda que tivemos como amiga.

AGRADECIMENTOS

Para a concretização dessa dissertação recebi apoio, conselhos, indicações, correções e, principalmente, motivação de muitas pessoas queridas e importantes pra mim. A minha gratidão está justificada em várias páginas na forma de contribuições que recebi e que se traduziram em parágrafos e capítulos desse trabalho. O uso da primeira pessoa do plural na redação é fundado em tais contribuições.

Quero agradecer a professora Ana Maria de Andrade Caldeira, que antes de tudo é para mim uma inspiração desde a graduação. Agradeço por ter me auxiliado com direcionamento, com apontamentos, com conselhos, com a luta contra o relógio e também com muitas caronas! Tive muito amparo teórico, metodológico e amigo da minha orientadora. Minha gratidão é imensurável.

Agradeço a Thais Benetti de Oliveira, que também foi minha professora na graduação e que também é igualmente uma inspiração pra mim. É meu porto seguro da carreira acadêmica. Sempre esteve disponível pra me tirar dúvidas, pra ouvir minhas aflições e me aconselhar. Desde a minha iniciação científica atuou como minha co-orientadora, me incentivando e acreditando demais em mim, às vezes mais do que eu mesma. Quando enfrento desafios, ouço mentalmente suas motivações, que sempre me impulsionam pra frente. Obrigada por ser tão presente.

Agradeço aos professores João J. Caluzi e Fernanda A. Meglhioratti pelas valorosas correções e indicações ao meu trabalho na qualificação, pois pude perceber caminhos que sozinha não teria visualizado. A polidez e a forma minuciosa como foram realizadas as contribuições são dignas de muita gratidão. Muito obrigada, professores.

Pelas contribuições formativas, que me permitiram adentrar a fundamentação da Educação para Ciência e perceber que eu tinha feito a escolha certa, agradeço aos professores que ministraram disciplinas durante o meu mestrado: ao professor Jair L. Junior, a professora Beatriz S. C. Cortela, ao professor Danilo Rothberg, aos professores João J. Caluzi e Marcelo C. Carneiro, a professora Ana Caldeira e aos professores Washington L. P. de Carvalho e Lizete M. O. de Carvalho. A dedicação

desses professores foi notável e pude aprender muito acerca da importância e dos desafios da educação científica e da formação de professores.

Agradeço ao Guilherme Venturini, da secretaria, que sempre me auxilia pacientemente com minhas infinitas dúvidas e pedidos.

Aos meus pais, Teresinha F. Ceschim e Oreste Ceschim, por me estimularem a sempre escolher o caminho guiado pelo meu coração, que foram meu suporte em vários sentidos nas dificuldades enfrentadas durante o mestrado e elaboração da dissertação, que abraçam meus sonhos comigo e, principalmente, por me incentivarem quando mais preciso. Muito obrigada por tudo.

Ao meu noivo, Raphael M. Bergamin, que muitas vezes se dispôs a ouvir partes da discussão da dissertação para me ajudar, que me acompanhou na resolução de vários imprevistos e prazos, e, por estar ao lado sempre que preciso pra absolutamente qualquer coisa.

Agradeço aos meus colegas do mestrado, aos meus amigos e a todos que puderam ouvir sobre os desafios referentes à dissertação e que respondiam com uma palavra de incentivo, acreditando na concretização desse projeto.

Também deixo meu agradecimento aos graduandos que estiveram no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia sempre muito interessados e atenciosos, que por participarem assiduamente e ativamente do grupo, permitiram a constituição dos dados e as reflexões de partes fulcrais da pesquisa.

Agradeço ao financiamento concedido pela CAPES, que auxiliou a minha dedicação à elaboração dessa dissertação.

“Um verdadeiro relojoeiro possui antevisão: ele projeta suas molas e engrenagens e planeja suas conexões imaginando o resultado final com um propósito em mente. A seleção natural, o processo cego, inconsciente e automático que Darwin descobriu [...] não tem nenhum propósito em mente. Ela não tem nem mente nem capacidade de imaginação. Não planeja com vistas ao futuro. Não tem visão nem antevisão. Se é que se pode dizer que ela desempenha o papel de relojoeiro da natureza, é o papel de um relojoeiro cego.”

(Richard Dawkins)

CESCHIM, Beatriz. **O emprego da teleologia na interpretação da biologia funcional e evolutiva: um estudo a respeito de concepções e da evolução conceitual de alunos de licenciatura em ciências biológicas**. 2017. 224f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2017.

RESUMO

A aprendizagem de evolução biológica é permeada por dificuldades referentes aos conceitos evolutivas que são frequentemente entendidos de forma equivocada, sendo que tais dificuldades são comumente tratadas por pesquisas que apontam concepções alternativas como obstáculos para o entendimento da teoria evolutiva. O pensamento teleológico é uma das dificuldades, cuja importância no ensino de evolução biológica será explorada nesse trabalho por meio de um estudo teórico e de uma investigação empírica, que possibilitaram explorar tanto as possibilidades de emprego da teleologia na interpretação da biologia quanto os empregos equivocados no discurso de estudantes da graduação de Ciências Biológicas. A obtenção de dados foi viabilizada pela gravação de áudios e aplicação de questionário escrito durante os encontros do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia, cujos participantes eram graduandos de licenciatura em Ciências Biológicas. A análise dos dados foi realizada por meio da metodologia de análise de conteúdo e as concepções dos alunos foram classificadas cronologicamente em zonas de um perfil conceitual. As discussões convergem para a aceitação da teleologia no entendimento das causas próximas da biologia e para a rejeição nas causas últimas (evolução). A análise dos dados permitiu a identificação da presença de concepções teleológicas nas formulações dos graduandos e a análise da evolução conceitual (durante os encontros do grupo de discussão) aponta para uma tendência de redução do uso de interpretações teleológicas e para um aumento de formulações balizadas na seleção natural. Ressaltamos a necessidade de fomentar espaços formativos nos quais os graduandos possam expressar as próprias concepções evolutivas para permitir a problematização e recontextualização de empregos inadequados da teleologia para a interpretação da biologia.

Palavras-chave: seleção natural, ensino de evolução, teleologia.

ABSTRACT

The learning of biological evolution is permeated by difficulties concerning evolutionary concepts which are often misunderstood, and such difficulties are commonly covered by research which points to alternative conceptions as obstacles to the understanding of evolutionary theory. The teleological thought is one of the difficulties, whose importance on the teaching of biological evolution will be explored in this paperwork through a theoretical study and an empirical investigation, which made it possible to explore both the possibilities of teleology in the interpretation of biology and the mistaken use in the Speech of undergraduate students of Biological Sciences. The data collection was made possible by the recording of audios and the application of a written questionnaire during the meetings of the Research Group on Epistemology of Biology, whose participants were undergraduate students in Biological Sciences. Data analysis was performed using content analysis methodology and students' conceptions were chronologically classified in zones of a conceptual profile. The discussions converge towards the acceptance of teleology on the understanding of the proximate causes of biology and for rejection in ultimate causes (evolution). Data analysis allowed the identification of the presence of teleological conceptions in the formulations of the undergraduate students and the analysis of the conceptual evolution (during the meetings of the discussion group) points to a tendency of reduction of the use of teleological interpretations and to a formulation increase based on natural selection. We emphasize the need of promoting formative spaces in which the undergraduate can express their own evolutionary conceptions to allow the problematization and recontextualization of inadequate use of teleology for the interpretation of biology.

Key-words: natural selection, evolution teaching, teleology.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Distinção entre categorias de causas próximas e últimas segundo Calcott (2013). 55

Quadro 2 - Classificação de formas adequadas e inadequadas de emprego do pensamento teleológico na interpretação de elementos naturais e artificiais. 82

Quadro 3 - As três principais etapas do desenvolvimento embriológico, segundo Meyer e El-Hani (2005). 138

Quadro 4 - Perguntas constituintes do questionário aplicado no último encontro do GPEB. 147

Quadro 5 - Caracterização de formas adaptacionistas e pluralistas do pensamento variacional (SEPÚLVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2013, p. 470). 153

Quadro 6 - Zonas de um perfil conceitual de adaptação e compromissos ontológicos e epistemológicos subjacentes a cada zona. A caracterização das zonas foi balizada nos dados empíricos obtidos no GPEB e em Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2013). 156

Quadro 7 - Tipos de concepções quanto ao emprego da teleologia para o entendimento do processo evolutivo. 156

Quadro 8 - Distribuição das concepções individuais dos sujeitos de pesquisa do GPEB. 184

Quadro 9. Fatores analisados por causas próximas e últimas. 192

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 Objetivos 17

1.1.1 Objetivo geral 17

1.1.2 Objetivos específicos 17

2 EPISTEMOLOGIA, DIDÁTICA E ENSINO DE EVOLUÇÃO BIOLÓGICA 19

2.1 Epistemologia, Didática e o papel do Grupo de Pesquisas em Epistemologia da Biologia (GPEB) 20

2.2 Considerações a respeito da Natureza da Ciência 28

2.3 Considerações a respeito da epistemologia da biologia evolutiva 32

3 O ESTUDO DAS CAUSAS NA BIOLOGIA 50

3.1 Uma discussão da dualidade causas próximas-últimas que articula biologia do desenvolvimento, evo-devo, ecologia e seleção natural. 59

3.2 Conceito de função em biologia 66

3.2.1 A teleologia inerente ao conceito de função biológica 71

3.2.2 Neoteleologia e o conceito de função 84

3.3 Causas evolutivas em biologia 86

4 PERFIL CONCEITUAL E TELEOLOGIA NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE BIOLOGIA EVOLUTIVA 91

4.1 Mudança de perfil conceitual 92

4.1.1 Considerações a respeito de um pluralismo de alternativas para se pensar o ensino e a aprendizagem em ciências 98

4.1.2 Estratégias de ensino na perspectiva da mudança de perfil conceitual 100

4.2 Concepções dos alunos relativas à evolução biológica na literatura 101

4.3 A teleologia no ensino e aprendizagem de biologia 107

4.4 A configuração do obstáculo teleológico 112

5 METODOLOGIA 121

5.1 Pesquisa Qualitativa 121

5.2 Obtenção de dados no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia 123

5.3 Etapas da pesquisa 126

5.3.1 Primeira Etapa 126

5.3.2 Segunda Etapa 136

5.3.3 Terceira Etapa 140

5.4 A análise dos dados 148

5.5 A classificação dos dados em zonas de perfil conceitual 151

6 RESULTADOS 158

6.1 Apresentação geral dos dados obtidos no GPEB 158

6.2. Classificação das concepções nas zonas de perfil conceitual 176

7 DISCUSSÃO 189

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 201

REFERÊNCIAS 205

ANEXO A – Respostas obtidas no questionário escrito final 219

1 INTRODUÇÃO

O ensino e aprendizagem de evolução biológica em diferentes níveis de ensino tem se mostrado desafiador: muitas das concepções referentes à teoria evolutiva entre estudantes e docentes são incompatíveis com o modelo científico proposto pela Síntese Moderna (GREGORY, 2009; SEPULVEDA; EL-HANI, 2007; BARDAPURKAR, 2008). Devido ao caráter integrador da teoria evolutiva nas Ciências Biológicas, justificam-se as pesquisas no ensino que investigam a didática e epistemologia da evolução biológica. Principalmente na formação inicial, urge a necessidade da inclusão de estratégias de ensino fundamentadas em trabalhos teóricos e empíricos que investigam a relação epistêmica e didática da biologia evolutiva.

A interpretação teleológica dos fenômenos evolutivos é constantemente encontrada em pesquisas que concretizam levantamentos de concepções alternativas dos estudantes (GREGORY, 2009; SEPULVEDA; EL-HANI, 2007; BARDAPURKAR, 2008), sendo tratada por alguns autores como um importante obstáculo[1] ao conhecimento da teoria evolutiva darwinista (RIBEIRO *et al*., 2011; 2015).

Interpretações teleológicas de fenômenos são formas de pensamento que concebem relações causais vinculadas a metas ou a um termo final. Discutir teleologia no âmbito das Ciências Biológicas é de extrema importância, visto que o discurso biológico é mediado pelo pensamento teleológico, principalmente no que tange à biologia funcional ou biologia de causas próximas (CAPONI, 2001; 2012) e muitas vezes também presente no discurso acerca do adaptacionismo darwiniano (CAPONI, 2001).

O fator que torna tão importante a discussão a respeito da admissão do pensamento teleológico no contexto da biologia é a inadequação ontológica das propriedades atribuídas aos processos biológicos quando entendidos à luz de uma perspectiva teleológica. Para discutir a origem da teleologia no pensamento humano, que ocorre normalmente nos primeiros anos de vida e constitui uma forma intuitiva

[1] O obstáculo ao conhecimento é referido pelos autores sob o contexto da concepção bachelardiana de “obstáculo epistemológico”.

de conceber fenômenos (KELEMEN, 2012), faremos alusão nesse trabalho às pesquisas desenvolvidas com o intuito de investigar a gênese do pensamento teleológico desde a infância.

Entender traços biológicos como fatores que atendem a metas é uma forma generalizada do entendimento humano que estende a compreensão dos artefatos (que são legitimamente teleológicos porque foram projetados para desempenhar uma dada função) para componentes vivos. Contudo, a generalização do modo de conceber os artefatos para o entendimento de traços biológicos é uma concepção equivocada, visto que embora traços possam exibir uma notável adequação ao organismo que a possui, não há planejamento por um processo/entidade consciente ou intencional na origem de um componente vivo qualquer (DAWKINS, 2001).

Algumas pesquisas referentes ao ensino e à aprendizagem de evolução biológica evidenciam o pensamento teleológico como um fator que dificulta ou impede o entendimento da teoria evolutiva ou o entendimento da seleção natural (tais como Gregory, 2009; Sepúlveda e El-Hani, 2007; Bardapurkar, 2008). Primeiramente, perspectivas contingentes inerentes à luta pela sobrevivência, à competição, às relações desarmônicas e às narrativas selecionistas não condizem com um pensamento teleológico, que concebe uma interpretação harmônica entre os componentes intraorgânicos de um organismo ou uma constante homeostase entre o organismo e o ambiente. A visão de que o processo evolutivo é dotado de antevisão e dotado de uma meta ascendente e progressiva é muito comum entre os estudantes de diferentes níveis de ensino, o que normalmente é acompanhado pela perspectiva da complementaridade organismo-ambiente que seria gerada por uma suposta otimização do processo evolutivo (SEPULVEDA; EL-HANI, 2007).

Em segundo lugar, embora numa perspectiva transformacional e lamarckista de evolução as explicações teleológicas sejam plausíveis, uma vez que as características surgem ou regridem em conformidade com as necessidades dos organismos, na perspectiva variacional ou selecionista que constitui o arcabouço teórico da Síntese Moderna, a fonte das características vivas é a mudança da informação genética por meio das mutações que tem caráter aleatório. Este é o ponto fulcral no qual a teleologia é um impedimento para a compreensão do processo evolutivo, pois os estudantes tendem a argumentar que as características

dos organismos surgem conforme a necessidade. Ou seja, ainda que um estudante não defenda que há uma tendência ao progresso e melhoramento entre os seres vivos, a teleologia pode estar presente no pensamento evolutivo quando os alunos defendem o surgimento de características vivas segundo a necessidade (GREGORY, 2009).

Em terceiro lugar, quando o aluno engendra de forma generalizada narrativas de seleção natural para explicar traços biológicos, toda a forma viva passa a ser interpretada à luz de uma narrativa seletiva. Esta é também uma forma teleológica de compreender a evolução (segundo Cummins, 2002), principalmente em um quadro teórico pluralista que considera as críticas ao adaptacionismo, pois os estudantes se fundamentam em uma função de um traço para defender uma narrativa de seleção natural. Ou seja, há a defesa de que por resolver problemas em um ambiente ancestral, uma determinada estrutura foi selecionada. O avanço para além de tal perspectiva denominada “neoteleológica” requer a inclusão de um pluralismo de processos no ensino da evolução biológica, para que os estudantes entendam quais outros processos além da seleção natural podem explicar a fixação de traços biológicos (CHEDIAK, 2011).

Tendo em vista a importância do pensamento teleológico como um obstáculo epistemológico (RIBEIRO *et al*., 2011; 2015) ao conhecimento da evolução biológica, faz-se necessário o estudo a respeito de discussões contemporâneas no que tange ao emprego e adequação de formulações e pensamentos teleológicos na biologia funcional e evolutiva para realizar a articulação entre epistemologia e didática, de forma a constituir a fundamentação necessária para o ensino e aprendizagem na formação inicial referente às formas adequadas e inadequadas do emprego da teleologia na biologia.

Desde a minha iniciação científica investigamos concepções e dificuldades de aprendizagem referentes à evolução em graduandos de biologia. Obtivemos dados por meio de um questionário a respeito da evolução biológica no que tange à seleção natural e biologia evolutiva do desenvolvimento (ou “evo-devo”). Embora nosso objetivo fosse a investigação em relação às possíveis mobilizações dos conceitos de evo-devo nas formulações dos alunos, os dados evidenciaram também outra questão: os alunos não mobilizavam conceitos da biologia evolutiva do

desenvolvimento – ver mais em Ceschim, Oliveira e Caldeira (2014) e em Oliveira (2015) – e, estando restritos aos conceitos da Síntese Moderna, estruturavam formulações teleológicas para explicar fenômenos evolutivos.

A teleologia em formulações que explicam causas remotas (ou causas últimas) na biologia é intensamente criticada nas discussões contemporâneas, embora a teleologia em formulações de causas próximas seja mais tolerada. Todavia, as perguntas do questionário de minha iniciação solicitavam somente explicações de cunho evolutivo, ou seja, a teleologia empregada poderia ser considerada como inadequada. Assim, os sujeitos de pesquisa, ao cursar o último ano da graduação de Ciências Biológicas apresentavam formulações teleológicas – ver mais em Ceschim, Oliveira e Caldeira (2015) – e para que fosse possível a verificação referente à consciência que os graduandos possuem ou não da imprecisão existente em tais formulações, novos dados deveriam ser obtidos.

Assim, com a finalidade de verificar se os alunos ao mobilizar o pensamento teleológico em formulações biológicas (mesmo ao tratar do processo evolutivo) estão ou não conscientes de que o fazem (ou se apenas estão simplificando o raciocínio em narrativas mais curtas), e, para identificar o pensamento teleológico como um obstáculo para o conhecimento evolutivo, esse trabalho foi iniciado.

Para fundamentar a pesquisa, realizamos um estudo acerca da discussão contemporânea que avalia o *status* da teleologia como uma forma de interpretação dos fenômenos vivos em causas próximas e em causas últimas, bem como um estudo a respeito do emprego de formulações teleológicas no ensino e aprendizagem de biologia evolutiva. Necessariamente, quando se trata de teleologia, o conceito de função precisa ser discutido; e o fizemos com base na dualidade do “conceito etiológico de função” e “conceito analítico de função” (ou concepção sistêmica de função). De forma geral, o conceito etiológico faz referência à função dos traços biológicos como resultados de um processo seletivo que ocorreu no passado, enquanto o conceito analítico alude às funções dos traços vivos sob a interpretação de papéis biológicos (CHEDIAK, 2011).

A neoteleologia de Robert Cummins (2002) que consiste em atribuir uma narrativa seletiva para explicar qualquer traço biológico também foi tratada nesse

trabalho, bem como a crítica ao programa adaptacionista para passarmos a defesa de um pluralismo de processos que respondam aos porquês da diversidade da forma. Embora, atualmente, no quadro teórico da Síntese Estendida estejam considerados vários conceitos que contribuem para o entendimento do processo evolutivo de forma plural, optamos por realizar um recorte referente ao conteúdo comumente ensinado nos currículos de graduação de biologia. Assim, trataremos da deriva genética e de regulações embriológicas (perspectiva da evo-devo), além de seleção natural.

A pesquisa, de caráter qualitativo, foi realizada em um grupo de discussões com 11 alunos de graduação em Ciências Biológicas, no qual conceitos e fenômenos evolutivos foram analisados e problematizados. Os dados foram obtidos por meio da gravação e transcrição das falas dos estudantes durante os encontros do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB) e por meio de um questionário final escrito. A investigação dos dados, baseada na proposta da análise de conteúdo (BARDIN, 2013), permitiu a classificação das concepções dos alunos em zonas de perfil conceitual[2] (MORTIMER, 2000), o que pode subsidiar a inferência referente à evolução conceitual realizada pelos estudantes durante o andamento do grupo de discussão.

A análise dos dados aponta para uma tendência de redução das formulações teleológicas no que se refere a explicações evolutivas e para uma tendência de consolidação de explicações seletivas, sendo algumas vezes acompanhadas por explicações referentes à deriva genética, ao efeito da pleiotropia sobre a conservação de traços biológico e à evo-devo.

Defendemos a incorporação de espaços formativos no Ensino Superior que contemplem, assim como pontuam Zohar e Ginossar (1998) a permissão e o estímulo às declarações explícitas dos estudantes acerca de compreensões referentes à biologia, para que sejam passíveis de negociação de significados acerca das formulações teleológicas mobilizadas.

[2] As diferentes zonas do perfil conceitual configuram um instrumento de análise da evolução conceitual em sala de aula.

Para Galli e Meinardi (2011), só é viabilizada ao aluno a capacidade de reconhecer equívocos da própria linguagem se o professor permite a identificação de usos apropriados e inapropriados da teleologia em discussões que incluem perguntas com situações problemáticas e integradoras. Os alunos devem se expressar livremente para que as concepções sejam objeto de autoanálise, visto que perceber as limitações da própria forma de expressão é uma tarefa difícil quando são raras as situações em que formulações científicas compatíveis com o modelo darwinista de evolução são contrapostas às concepções alternativas.

No âmbito do GPEB, tais indicações dos autores puderam ser concretizadas, devido à própria natureza organizacional do grupo. Em razão dos resultados positivos da intervenção realizada nas discussões do GPEB, indicamos que espaços formativos que permitem a expressão dos alunos podem auxiliar a viabilização da transposição de obstáculos epistemológicos e ontológicos concernentes à aprendizagem de evolução biológica e ao emprego adequado de teleologia na interpretação da biologia.

1.1 Objetivos

Nessa seção serão descritos os objetivos do trabalho, que estão subdivididos em “objetivo geral” e “objetivos específicos”.

1.1.1 Objetivo geral

Articular epistemologia e didática de forma a constituir a fundamentação teórica necessária para o ensino e aprendizagem na formação inicial referente às formas adequadas e inadequadas do emprego da teleologia na biologia, tanto por meio do estudo de discussões contemporâneas no que tange ao emprego de formulações e pensamentos teleológicos na biologia funcional e evolutiva, quanto por meio de uma pesquisa empírica realizada em um grupo de pesquisa com graduandos de Ciências Biológicas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar na literatura as discussões contemporâneas referentes ao emprego do pensamento teleológico na biologia funcional e evolutiva.

- Estudar na literatura as discussões referentes ao emprego de formulações teleológicas e do pensamento teleológico[3] no ensino e aprendizagem de biologia evolutiva.
- Analisar e discutir concepções contemporâneas de função biológica.
- Pesquisar as concepções de estudantes de graduação de Ciências Biológicas a respeito da evolução biológica, principalmente no que concerne ao emprego da teleologia no GPEB.
- Analisar a evolução conceitual dos estudantes de graduação de Ciências Biológicas durante os encontros do GPEB.
- Discutir a pertinência da abordagem a respeito do emprego da teleologia na biologia funcional e na biologia evolutiva realizada no GPEB para a formação inicial de graduandos de Ciências Biológicas.

[3] A distinção entre formulação/pensamento teleológico é balizada na discussão de Zohar e Ginossar (1998) que defendem que nem sempre uma formulação teleológica está acompanhada de um raciocínio teleológico.

2 EPISTEMOLOGIA, DIDÁTICA E ENSINO DE EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

O presente trabalho é um estudo a respeito de epistemologia e didática da biologia no Ensino Superior, principalmente no que se refere à evolução biológica. Trata-se de um estudo acerca das questões epistemológicas que necessitam estar inerentemente atreladas ao ensino de evolução, pois devido à constante integração de conhecimentos de várias subáreas biológicas ao quadro teórico evolutivo desde Darwin, a evolução biológica precisa ser constantemente revisitada e reinterpretada para que os dados empíricos engendrados sejam adequadamente incorporados aos conceitos já consolidados.

Desde Darwin, à Síntese Moderna e à atual Síntese Estendida, a evolução biológica tem integrado conhecimentos provenientes de áreas como genética, embriologia, paleontologia e, mais recentemente, tem introduzido à Síntese Estendida conhecimentos provenientes de áreas como epigenética, genômica, formas de herança além da genética e também conhecimentos evolutivos provenientes da interação entre os níveis hierárquicos da biologia (genética, organismo e ecologia)[4] por meio do que é atualmente denominado "biologia evolutiva ecológica do desenvolvimento" (ou eco-evo-devo)[5].

Embora o conhecimento evolutivo seja alvo de constante debate e reformulações com base nos conhecimentos produzidos, principalmente, ao longo do século XX, as discussões teóricas contemporâneas têm pouco ou nenhum impacto sobre os conhecimentos dos estudantes do Ensino Superior. Como evidenciamos em pesquisas anteriores, graduandos do curso de Ciências Biológicas mobilizam conceitos restritos ao quadro da Síntese Moderna quando são convidados a interpretar fenômenos evolutivos (CESCHIM, OLIVEIRA e CALDEIRA, 2014; OLIVEIRA, 2015), uma constatação também evidenciada por outros autores (GREGORY; ELLIS, 2009). Os materiais didáticos comumente empregados como livro-texto de disciplinas de evolução, como Ridley (2006) e Futuyma (2009), apesar de incluírem conteúdos referentes à evo-devo (ou biologia evolutiva do

[4] Os três níveis hierárquicos do conhecimento biológico estão empregados segundo a proposta de Andrade *et al*. (2008)

[5] A perspectiva da eco-evo-devo é descrita por autores como Gilbert, Bosch e Ledón-Rettig (2015) e Gilbert e Epel (2009).

desenvolvimento), o fazem de forma fragmentada, o que implica a ausência da integração dos conteúdos (BITTENCOURT-DOS-SANTOS, 2013).

O estudante de graduação de Ciências Biológicas tende a estar restrito aos pressupostos evolutivos da Síntese Moderna para propor explicações a fenômenos evolutivos, mas frequentemente estruturam tais explicações com problemas conceituais. Nesse trabalho, defenderemos a inclusão de conceitos provenientes da evo-devo na formação inicial, em espaços como grupos de discussão, com o intuito de promover uma compreensão mais ampla acerca do processo evolutivo. O estudo da aprendizagem de tais conceitos no que diz respeito à possibilidade da ampliação da compreensão da evolução biológica pode balizar o argumento de que os conhecimentos introduzidos à Síntese Estendida podem fazer parte dos currículos da graduação de Ciências Biológicas.

Também defenderemos a inclusão da discussão acerca da plausibilidade do emprego da teleologia na interpretação da biologia em espaços formativos da graduação de Ciências Biológicas, tendo em vista a estreita relação entre o pensamento teleológico e as dificuldades conceituais dos estudantes da graduação.

2.1 Epistemologia, Didática e o papel do Grupo de Pesquisas em Epistemologia da Biologia (GPEB)

A palavra epistemologia deriva do grego *epistéme* (ciência ou verdade) e *logos* (estudo ou discurso), assim, epistemologia seria o estudo ou discurso da ciência. Trata-se de um estudo a respeito dos princípios, hipóteses e resultados constituídos pelas ciências e pode determinar fundamentos lógicos, justificativas e o alcance das ciências (RAMOS, 2008).

Segundo Ana Maria de Andrade Caldeira (2009, p.82), o termo epistemologia pode se referir ao estudo do conhecimento, ou seja, refere-se “a estudos realizados sobre um corpo de conhecimentos constituídos por um determinado campo científico”. Quando há alusão à gênese, ao desenvolvimento e articulações da ciência, trata-se de epistemologia. Ou seja, a epistemologia é o discurso da ciência, pois é a busca do conhecimento referente ao conhecimento científico (metaconhecimento) e pode ser tratada como sinônimo de filosofia da ciência (RAMOS, 2008).

O sujeito realiza uma reflexão epistemológica ao analisar um conhecimento científico na tentativa de buscar como ele foi originado, como continua sendo estruturado, qual processo histórico culminou em sua estruturação e reformulações e a adequação e validade desse saber. É um trabalho de grande importância para o professor, que poderá decidir com autonomia acerca de quais são as possibilidades de ensino mais adequadas e quais são inadequadas (RAMOS, 2008).

Discutir aspectos epistemológicos da biologia com alunos de graduação pode ser uma importante estratégia de ensino quando se almeja a formação de professores que conheçam a natureza do conhecimento biológico e que são capazes de analisar o próprio pensamento a partir da consciência acerca dos tipos de formulações adequadas e inadequadas na biologia.

Em consonância, segundo Mariana A. Bologna Soares Andrade *et al.* (2008), a epistemologia pode ser entendida como "o estudo dos conceitos centrais de uma disciplina que fornece sustentação para a estruturação sistemática desta como uma área de conhecimento consolidado" (ANDRADE *et al.*, 2008, p. 15).

Nesse trabalho, teorias e conceitos centrais da biologia selecionados para a discussão foram aqueles concernentes às causas próximas e causas últimas que respondem aos questionamentos do conhecimento biológico[6]. Tratamos, pois, da evolução biológica e do conceito de função. A natureza do conhecimento biológico foi constantemente objeto de discussão, visto que a questão central introduzida à discussão foi a adequação ou inadequação do pensamento teleológico nas Ciências Biológicas.

Em instituições de Ensino Superior, a formação inicial dos alunos, mediante o ensino de conceitos em disciplinas que preconizam o ensino conceitual estanque e cartesiano – nas quais as subáreas biológicas não são tratadas como interdependentes – resulta frequentemente em um aprendizado por memorização. Para vencer as avaliações, segundo Caldeira (2009), os alunos tendem a se apropriar do conhecimento biológico por meio da repetição, de maneira mecanicista. O conhecimento passa a ser aprendido de modo dogmático e sem senso crítico. Segundo a autora, no ensino sem problematizações (formação de problemas a

[6] As causas próximas e últimas são defendidas e caracterizadas por Mayr (2005).

serem investigados pelos alunos), os graduandos tendem a perpetuar as próprias opiniões e visões de ciência; assim, não recorrem a conhecimentos científicos fundamentados em construções epistemológicas adequadas.

Justificada em tal cenário problemático da formação inicial de professores de biologia, Caldeira (2009) propõe que o pensamento epistemológico na formação inicial pode ser promovido por meio do ensino relativo à história da biologia, do ensino referente aos autores que pesquisam epistemologia da biologia e por meio da análise da produção do conhecimento biológico no que diz respeito aos contextos de produção.

Caldeira e Bastos (2009) argumentam que a didática é uma disciplina que articula teoria e prática, sendo esse o papel da didática na formação do professor, ou seja, a didática é um campo de estudos que contribui para a articulação entre teoria e prática de uma forma reflexiva, que permite ao professor dispor das especificidades de sua área de atuação, como a biologia.

> A didática é assumida como uma disciplina pedagógica indispensável ao exercício profissional, constituindo-se referência para a formação de professores à medida que investiga os marcos teóricos e conceituais que fundamentam, a partir das práticas reais de ensino-aprendizagem, os saberes profissionais a serem mobilizados na ação docente, de modo a articular na formação profissional a teoria e a prática. Na relação de continuidade entre estudos clássicos e contemporâneos em didática, tem sido consensual o entendimento de que seu objeto de estudo é o processo de ensino-aprendizagem ligado à apropriação de conhecimentos, em determinados contextos, visando à formação do aluno. Constitui-se, assim, como um sistema teórico de referência para dar suporte à análise de aspectos da formação profissional de professores no que se refere à relação entre conhecimento disciplinar e conhecimento pedagógico (LIBÂNEO, 2015, p.633).

José Carlos Libâneo (2015) pontua que a didática investiga processos de ensino e aprendizagem no que diz respeito a sua relação com conteúdos específicos, ou seja, o cerne da questão didática é “o conhecimento enquanto um processo mental a ser desenvolvido pelo aluno para conhecer objetos, ou seja, seu processo de formação de conceitos” (p. 641). Assim, à didática cabe a investigação acerca do processo de ensino e aprendizagem no que concerne aos saberes, visando o desenvolvimento do aluno. O professor estimula a apropriação de produtos da ciência por meio de uma atividade autônoma dos alunos, um processo

denominado mediação didática, que consiste na mediação das relações entre o aluno e os objetos de conhecimento (processo de ensino e aprendizagem).

Para Libâneo (2015), a didática reúne de forma integrada a lógica da organização dos saberes que serão objetos de ensino (dimensão epistemológica), a lógica das formas de aprendizagem (dimensão psicopedagógica) e a lógica da atuação docente no ensino.

> Essas considerações permitem evidenciar a relação de dependência da didática com a epistemologia das disciplinas, do que decorre que os professores precisam não só ter domínio dos resultados da ciência como, também, dos procedimentos lógicos e investigativos dessa ciência, pois é daí que se originam as capacidades intelectuais a formar nos alunos na atividade de estudo. Nesse caso, o conhecimento pedagógico do conteúdo consiste em ajudar o aluno a transformar os conteúdos em objetos do pensamento, ou seja, em conceitos teóricos. Reside aí, precisamente, a problemática da relação entre o conhecimento disciplinar (conhecimento do conteúdo) e o conhecimento pedagógico na formação de professores (LIBÂNEO, 2015, p.642)

O professor formado, para ter autonomia intelectual, pode articular teoria e prática para refletir criticamente acerca da sua prática profissional. Para tanto, o licenciando precisa ser estimulado a conhecer, refletir criticamente, debater, investigar, avaliar, propor soluções e aplicar conhecimentos. Assim, além do conhecimento de natureza conceitual, o professor em formação pode aprender habilidades e atitudes que possibilitarão a própria *praxis* docente (CALDEIRA; BASTOS, 2009).

Também visando à formação de professores para além do conteúdo conceitual ou disciplinar, Michael S. Matthews (1995) defende que a história e filosofia da ciência podem contribuir com um entendimento integral da matéria científica, por auxiliar a superação da falta de significação das aulas referente às ciências. A compreensão da configuração da ciência, hoje apontada como objeto de ensino em muitos currículos, é comumente denominada como “Natureza da Ciência” (MATTHEWS, 1995).

Além do conhecimento didático e pedagógico, o conhecimento histórico e filosófico da área cujo conteúdo de ensino se insere é crucial para uma abordagem coerente da Natureza da Ciência, e, coerente com a articulação entre subáreas do conhecimento. Os avanços no Ensino de Ciências dependem muito das bases

teóricas e da reflexão epistemológica na formação de professores, uma vez que o “tempo de serviço não é qualificação para uma análise crítica em nível epistemológico” (PRAIA; CACHAPUZ; PÉREZ, 2002, p. 129).

Segundo Matthews (1995), a inclusão da perspectiva histórica, filosófica e sociológica da ciência no ensino de ciências e na formação de professores é considerada uma “abordagem contextualista”, uma vez que as ciências passam a estar integradas aos seus contextos adjacentes: “ético, social, histórico, filosófico e tecnológico” (p. 166). Assim, o ensino passa a ser em e sobre ciências e adquire mais significação. O ensino da história da ciência é de grande contribuição para a aprendizagem, visto que pode esclarecer o caráter dinâmico ao qual a ciência está submetida, dado que o conhecimento científico está constantemente sujeito a modificações.

Se as concepções de ciência influenciam o modo como professores ensinam, é preciso que sejam viabilizados na formação de docentes espaços nos quais seja possível a reflexão, discussão, confrontamento e aprofundamento de tais concepções. As concepções de ciência obtidas de forma imperceptível ao longo da formação do docente, sendo isentas de reflexão e posicionamento crítico, são normalmente associadas à ideia de ciência positivista-empirista, o que resulta em uma imagem distorcida e mitificada de ciência (PRAIA; CACHAPUZ; PÉREZ, 2002).

A inclusão de estudos epistemológicos na formação docente tem importância para romper com a visão empirista/indutivista da ciência, para uma gradual passagem para a concepção de que existe uma construção dinâmica do conhecimento, permeada por limitações, que resultam em uma constante luta em busca não de certezas, mas de um melhor e mais adequado conhecimento (PRAIA; CACHAPUZ; PÉREZ, 2002).

O ensino da biologia evolutiva está necessariamente subordinado às concepções de Natureza da Ciência que podem emergir no discurso do professor, visto que o ensino com relação ao darwinismo normalmente é contraposto às premissas comumente denominadas “lamarckistas” (embora Darwin também fosse

adepto de pressupostos admitidos por Lamarck)[7], e, após a incorporação dos conhecimentos provenientes da genética em torno de 1930 e 1940, a Síntese Moderna passa a ser diferente da teoria proposta por Darwin: ainda que a Síntese Moderna tenha incorporado a seleção natural de Darwin, a lei dos caracteres adquiridos e outras ideias acerca da hereditariedade propostas por Darwin foram substituídas na Síntese Moderna por conhecimentos referentes aos fatores hereditários da genética – uma área de estudo que passou a ser estruturada após a retomada do trabalho de Mendel.

Além da seleção natural, a Síntese Moderna incorporou os conceitos de recombinação gênica, mutação e deriva genética para explicar a diversidade da vida. Trata-se de uma mudança de concepção referente ao processo evolutivo, o que, necessariamente, requer uma leitura histórica e filosófica. Os conhecimentos produzidos por Lamarck, por Darwin e Wallace, e, pela Síntese Moderna representam um episódio da história do conhecimento evolutivo que necessariamente tem sido abordado em disciplinas de evolução biológica. Assim, se durante o processo de ensino e aprendizagem de evolução biológica, a Natureza da Ciência não se tornar objeto de ensino concomitantemente ao ensino dos conceitos evolutivos, as várias configurações da teoria evolutiva podem ser entendidas como conformações ultrapassadas *versus* conformações finais.

Esse entendimento seria equivocado, visto que os autores que engendraram o arcabouço teórico evolutivo, o fizeram balizados nos conhecimentos teóricos e empíricos disponíveis e vigentes. Atualmente, novos dados empíricos e novas reflexões teóricas podem ampliar o conhecimento evolutivo, inclusive resgatando alguns pontos que foram desconsiderados pela Síntese Moderna, como a influência do desenvolvimento na evolução (CARROLL, 2006) e a herança de caracteres que são adquiridos ao longo da vida (FRANCIS, 2015; JABLONKA E LAMB, 2010; SKINNER, 2015).

Estamos a defender a inclusão de espaços formativos que transformem a epistemologia da biologia em objeto de ensino de forma explícita, sendo a evolução

[7] Darwin (2009), para tratar da hereditariedade, explicava a transmissão de características hereditárias por meio da lei dos caracteres adquiridos admitidos por Lamarck.

biológica, um importante substrato que pode subsidiar a discussão com relação às reordenações que o conhecimento científico pode sofrer. As implicações do estudo da Natureza da Ciência, e mais especificamente da natureza das Ciências Biológicas, na formação inicial podem incluir uma melhor compreensão dos fenômenos biológicos, posto que os conceitos aprendidos durante a vida acadêmica do estudante são questionados à medida que são revisitados segundo o estudo epistemológico de um determinado tema. O questionamento no que diz respeito à natureza do conhecimento biológico pode propiciar reflexões para estimular compreensões mais fundamentadas dos conceitos centrais e dos conceitos integradores da biologia, de modo que pode contribuir para a fundamentação teórica do professor que está sendo formado.

Ressaltamos especificamente a “natureza das Ciências Biológicas” porque a autonomia de uma área do conhecimento compõe-se de características, metodologias e objetivos próprios.

> As didáticas específicas (ou disciplinares), com base nos saberes específicos com sua estrutura conceitual e procedimentos investigativos e nos saberes pedagógico-didáticos sobre ensino e aprendizagem, atuam nos aspectos epistemológicos do processo geral do conhecimento, nas peculiaridades epistemológicas de cada disciplina e nos processos externos e internos do desenvolvimento humano e da aprendizagem. Em síntese, as didáticas específicas têm como objeto de estudo as peculiaridades dos processos de ensino-aprendizagem de cada uma das disciplinas, visando sua organização pedagógico-didática, em correspondência com os níveis de ensino a atender e as características individuais e socioculturais dos alunos (LIBÂNEO, 2015, p.646)

Também a compreensão da epistemologia de uma determinada área confere o entendimento dos conceitos que lhe oferecem sustentação. A epistemologia contribui para o estudo dos conceitos centrais de uma disciplina e fornece subsídios para uma estruturação sistemática (ANDRADE *et. al*, 2008).

> A Biologia possui características próprias e não deve ser reduzida ao corpo conceitual e teórico de outras Ciências. No entanto, isso não significa que ela não depende dos estudos realizados em outros campos do conhecimento científico, tais como a Física e a Química. A Biologia, ao mesmo tempo em que está intrinsecamente relacionada com as outras ciências e é dependente dos estudos desenvolvidos nelas, apresenta características que lhe conferem autonomia. Portanto, sem deixar de considerar a interdependência existente entre as diversas Ciências, tais como as Ciências Físicas, Químicas, entre outras, não podemos seguir na Biologia o mesmo

> modelo de Ensino e de compreensão conceitual das outras ciências, pois ela apresenta uma Epistemologia própria (ANDRADE *et al.*, 2008, p. 22).

No que se refere à epistemologia e didática da biologia, duas questões são muito frequentes em pesquisas: (a) a necessidade de reflexões e discussões referentes aos conceitos fundamentais que estruturam a biologia como área do conhecimento unificada, e (b) a fragmentação do conhecimento biológico. A fragmentação gerada no Ensino Médio e no Ensino Superior decorre da imitação das linhas de pesquisa que se consolidaram durante o desenvolvimento das Ciências Biológicas. Pode-se considerar que o estudo da biologia por subáreas estanques resulta na perda da complexidade e da integração dos fenômenos biológicos (ANDRADE *et. al*, 2008).

O Grupo de Pesquisas em Epistemologia da Biologia (GPEB) é uma instância na qual se discute quais fundamentos básicos do conhecimento das Ciências Biológicas devem ser parte da formação de professores de biologia. A partir das reuniões do grupo é possível a inserção de discussões epistemológicas que podem contribuir para a formação de professores de biologia, pois se trata de um âmbito formativo que pode promover melhor compreensão do conhecimento biológico.

O grupo, inicialmente desenvolvido ao longo do ano de 2007, foi organizado com o intuito de orientar a formação de pesquisadores viabilizada pela elaboração e aplicação de projetos de pesquisas que façam alusão a características e conceitos que são próprios do conhecimento biológico. Participantes do grupo podem ser graduandos, pós-graduandos e docentes universitários, que são concomitantemente pesquisadores e sujeitos de pesquisa (MEGLHIORATTI *et al.*, 2008).

No que diz respeito às pesquisas, graduandos podem realizar projetos de pesquisa e Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) no grupo e pós graduandos associados a docentes universitários podem orientar discussões, podem analisar o desenvolvimento dos conceitos e podem orientar sua formação enquanto pesquisadores dos graduandos (MEGLHIORATTI *et al.*, 2008).

Para a formação dos estudantes na graduação, a importância da participação no grupo está na ausência de outros espaços para discussões epistemológicas durante o curso, o que normalmente implica a aprendizagem dogmática de conceitos que não serão posteriormente refletidos. Assim, o estudo da epistemologia da biologia nos encontros do grupo permite discussões referentes aos conceitos

fundamentais da biologia e a integração de muitos conceitos biológicos (ANDRADE *et al.*, 2008).

Como considera Oliveira (2015) embora as ciências como um todo sejam dotadas de características epistemológicas comuns, cada ciência apresenta especificações epistemológicas que são relevantes para a configuração do conhecimento e para a abordagem no ensino. Assim, para a autora, a epistemologia atrelada à didática, subsidia a prospecção das abordagens possíveis para inserção na formação inicial no que diz respeito à natureza da biologia. A partir do GPEB, implicações didáticas podem ser engendradas por meio da reflexão epistemológica com relação ao conhecimento biológico. O estudo da intersecção entre didática e epistemologia, para Oliveira (*ibid*.)*,* pode subsidiar a estruturação de uma didática específica para a biologia.

Nesse trabalho, as estratégias utilizadas no GPEB com o intuito de aproximar epistemologia e didática foram: (a) constante problematização de fenômenos evolutivos com base em diferentes quadros teóricos que fornecem interpretações alternativas (perspectiva transformacional, Síntese Moderna e evo-devo); (b) análise do significado das formulações referentes à evolução elaboradas pelos alunos de forma a localizar as mesmas em um quadro teórico pré-existente (supracitadas); e (c) apresentação de conceitos e quadros interpretativos da Teoria Sintética e da evo-devo.

2.2 Considerações a respeito da Natureza da Ciência

A sociedade contemporânea caracteriza-se pelo resultado do processo de formação de novos valores, um encadeamento iniciado na Europa que atingiu várias partes do planeta. Segundo Rosa (2010), os principais aspectos relacionados à nova forma de organização social prospectados no século XIX são: industrialização, capitalismo e laicismo. Mais determinante nas nações ocidentais e, mais especificamente nos meios acadêmicos e governamentais, tal renovação de pensamento está focada no prestígio pela racionalidade em detrimento do dogmatismo baseado na teologia e na fé. Como pontua o autor, embora a população continuasse religiosa, a igreja perdeu muito da autoridade e influência sobre instituições públicas. Assim, (*ibid*., p. 18), “A crença e o misticismo deixariam de ser

o caminho para o conhecimento, que passaria a ser adquirido, através da racionalidade e da pesquisa, pelo método científico".

Por meio de tal encadeamento, uma visão que se tornou comum foi a de ciência empiricista, cuja validade é supostamente garantida pelo indutivismo e pelo método científico. É uma perspectiva que pressupõe que a observação durante "o fazer científico" seja imparcial e que o conhecimento se acumula, sendo os antigos saberes constantemente substituídos por novos saberes; ou seja, a ciência é organizada pela estrutura lógica da investigação por critérios objetivos (HARRES, 2008).

Defendida por Auguste Comte (1798-1857), no século XIX, a ciência concebida a partir de um conceito empiricista foi separada da filosofia segundo os seguintes critérios: a ciência é baseada em fatos observáveis e empirismo; a filosofia é baseada em conceitos e reflexões metafísicas. O pensamento denominado "positivismo" foi fundado por Comte e tem como ideia central a afirmação de que "somente são reais os conhecimentos que repousam sobre fatos observados. Essa máxima fundamental é evidentemente incontestável" (COMTE, 1978 p. 04). O positivismo foi marcado pela preponderância da experiência como fonte de conhecimento; assim, sem dados empíricos, considerava-se que não havia conhecimento.

Muitos autores, como Popper, Kuhn e Fleck, elencaram fatores que colocam em evidência a fragilidade da concepção positivista de ciência. Os séculos XIX e XX foram caracterizados por intensas discussões com relação ao que é a ciência. Por meio de críticas direcionadas ao positivismo e de reflexões acerca do dinamismo da ciência as concepções acerca da Natureza da Ciência, ao menos entre os filósofos da ciência, sofreram grande mudança (HARRES, 2008).

Foram questionados vários pontos da perspectiva empiricista de ciência, principalmente no que diz respeito à ideia de que o conhecimento científico é proveniente da observação direta dos fatos (uma afirmação comum em meios de comunicação e livros didáticos). As críticas ao empiricismo se aprofundaram a partir dos anos 1950, porém trata-se de uma visão impregnada na crença popular e, muitas vezes, meios de comunicação e a própria escola podem reforçar uma visão simplificada de ciência (HARRES, 2008).

Algumas críticas e posicionamentos em relação a imagem da ciência serão brevemente elencados a seguir. De forma geral, as contribuições de tais julgamentos são representadas principalmente pela defesa de que a relação entre experimento e teoria é mais complexa do que a perspectiva empiricista desenha (HARRES, 2008).

Karl Popper (1902-1994), por exemplo, com a proposta do racionalismo crítico, defende que todo conhecimento é falível, corrigível e provisório, o que torna impossível a comprovação da veracidade de uma teoria, uma vez que pode ser alvo de críticas e de problemas no futuro. Além disso, o autor defendia que uma observação é sempre acompanhada por uma teoria: nunca é pura e independente de visões teóricas (POPPER, 2011).

Thomas Kuhn (1922-1996), por meio da conceituação de paradigma, contribui também para a consolidação da visão de ciência como dinâmica, ao demonstrar o quanto um conhecimento está submetido às concepções vigentes. Os paradigmas seriam grandes teorias que direcionam e orientam a visão de mundo do cientista. Segundo Kuhn, paradigmas são "as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência" (KUHN, 1962, p. 13). Kuhn ressalta que quando mudam os paradigmas, o mundo apesar de ser o mesmo, passa a ser outro para o cientista, pois ao partir de novas premissas, os cientistas olham para os mesmos pontos já examinados e podem tirar conclusões novas.

Embora o trabalho dos autores supracitados tenha influenciado o meio acadêmico gradativamente ao introduzir novas concepções acerca da ciência, existe uma discrepância desse movimento de ressignificação da ciência entre os setores acadêmicos e a população em geral. Para a visão da sociedade civil, a ciência tem por meio da posse dos saberes, a autoridade de decidir a organização da produção, da exploração de recursos, da criação e utilização da tecnologia, e, incide autoridade até mesmo na atuação das pessoas no mundo. Em consonância, Alves (1981) considera que a visão pública consolidada resulta num pensamento de que "O cientista tem autoridade, sabe o que está falando e os outros devem ouvi-lo e obedecê-lo. [...] O cientista virou mito. E todo mito é perigoso, porque ele induz o comportamento e inibe o pensamento" (*ibid.*, p. 7-8).

Também é comum que as obras centralizadas em um determinado cientista – como Einstein, Darwin ou Lavoisier – apresentem todos os que não aceitavam suas idéias (ou seus antecessores) como tolos, o que é uma visão distorcida da história. Nesse caso, o historiador da ciência vai procurar no passado somente o que se aceita atualmente, ignorando completamente o contexto da época (MARTINS, 2005).

Em contraposição a tal tipo de leitura histórica a respeito da ciência, Ludwik Fleck (1896-1961) defende que não há verdades ou ideias obsoletas na ciência; o autor argumenta que há substituição dessa dualidade pela capacidade de conceitos se enquadrarem ou não em um sistema. Mudanças podem complementar o desenvolvimento de *estilos de pensamento*, um termo interpretado pelo autor como os “pressupostos de pensamento sobre os quais o coletivo constrói seu edifício de saber” (FLECK, 2010, p. 61). Desse modo, não há erros completos ou verdades completas, pois não é possível deixar para trás o passado e os respectivos erros. Em outras palavras, “não existe geração espontânea dos conceitos; eles são, por assim dizer, determinados pelos seus ancestrais” (*ibid*., p. 61). Para épocas distintas há concepções vigentes que são dominantes, mas possuem vestígios de concepções passadas, que por sua vez, são predisposições para concepções futuras, ou seja, podem circular de um estilo de pensamento para outro. Dessa forma, “nunca o futuro se livra totalmente do passado” (FLECK, 2010, p. 81).

Na epistemologia engendrada por Fleck, é possível inferir que a experimentação perde o posto de protagonista da gênese do conhecimento, pois como coloca o autor “A alteração do estilo de pensamento [...] oferece novas possibilidades de descobertas e cria fatos novos.” (p. 162). O protagonista da gênese do conhecimento para Fleck é o coletivo de pensamento que pode dar origem aos diferentes estilos de pensamento, nos quais “velhos pressupostos” podem ganhar novos significados.

Embora não haja uma conceituação unívoca de ciência, há pontos comuns na perspectiva de epistemólogos modernos, tais como a defesa de que a observação sofre influência de limitações e variações dos sentidos e emoções, e, de que a observação é subsidiada por uma teoria previamente existente. Também é comum encontrar apontamentos epistemólogos referentes à observação indireta, que é mediada por aparatos científicos propensos a limitações, e, o apontamento de que

as teorias e conceitos científicos são construídos por meio de invenção e abstração, sendo muito frequente a justificativa de que teorias somente são evidenciadas em experimentos posteriores. No tocante ao caráter dinâmico da ciência, é comum a defesa de que conceitos e teorias podem ser temporários e dependentes de um contexto (HARRES, 2008).

Tendo em vista as sucessivas modificações sofridas pela teoria da evolução biológica, estruturamos essa breve discussão acerca da Natureza da Ciência, almejando ressaltar que por não ser neutro, individual e linear, o conhecimento científico está submetido a reformulações e releituras que podem encadear e delinear a interpretação e a produção do corpo teórico científico.

Tendo como fundamento a discussão acima, passaremos a examinar brevemente os principais pontos históricos e filosóficos do conhecimento referente à evolução biológica desde o século XIX até o momento em que autores passam a defender a inserção da evo-devo ao arcabouço teórico evolutivo.

2.3 Considerações a respeito da epistemologia da biologia evolutiva

A biologia evolutiva foi, e ainda é, reestruturada por uma plêiade de panoramas teóricos, empíricos e epistemológicos. Concernente à evolução, muito do que se pensava há décadas foi acrescido com dados de pesquisas mais recentes, enquanto algumas ideias basais permaneceram inalteradas (CESCHIM; OLIVEIRA; CALDEIRA, 2016). As obras de Charles Robert Darwin (1809-1882) e Alfred Russel Wallace (1823-1913) a respeito da seleção natural, por exemplo, representaram um trabalho fundamental para a consolidação da biologia evolutiva a partir de 1859. Ainda hoje, para subsidiar explicações evolutivas mobilizamos muitos argumentos propostos por eles (MEYER; EL-HANI, 2005).

> Uma leitura dos artigos publicados pelos dois naturalistas em 1858 mostra que ambos fizeram referência à luta pela existência que existe na natureza, onde o indivíduo melhor adaptado sobrevive e deixa descendentes, enquanto que o menos adaptado deve sucumbir e sua variedade ou espécie entrar posteriormente em extinção. Verifica-se também que, embora Wallace não tenha utilizado a expressão “seleção natural”, referiu-se a um princípio cuja conotação é a mesma daquele proposto por Darwin. Além do artigo de 1858, Darwin e Wallace publicaram nas décadas seguintes outras obras onde suas ideias sobre o princípio da seleção natural foram ficando mais claras e abrangentes (CARMO; MARTINS, 2006, p. 335-336).

Igualmente merecedor de créditos pela construção de um quadro teórico evolutivo é o autor Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, ou cavaleiro de Lamarck (1744-1829). A partir do momento em que Lamarck propôs novas respostas para a origem dos seres vivos, passa a existir uma teoria alternativa à ideia de que seres vivos complexos surgem da matéria inanimada, como propunha Georges Louis Leclerc (ou Conde de Buffon). Vale ressaltar que o termo “evolução” não era citado por Lamarck (igualmente não era citado por Darwin) para referir-se à própria teoria (MARTINS, 1994), visto que na época o termo era empregado com um sentido similar ao que hoje chamamos de ontogenia (MARTINS, 2014).

Lamarck viveu durante um período em que muitos naturalistas interpretavam as espécies segundo uma perspectiva fixista, pois afirmavam que todas haviam sido criadas por um Deus e que desde o início permaneceram em sua distribuição geográfica atual, adaptadas aos respectivos ambientes. Lamarck também pensou de maneira fixista no que diz respeito à diversidade dos seres, mas a partir de 1800 passa a tratar da possibilidade de modificação das espécies ao longo do tempo em suas publicações (MARTINS, 2014).

Lamarck defendia que animais e plantas[8] simples (organismos de tamanho reduzido) podiam ser originados ao longo do tempo por geração espontânea, o que ocorreria somente em estações mais frias em ambientes aquáticos (MARTINS, 1994). A simplicidade interpretada por Lamarck em tais organismos se deve principalmente à inexistência de possibilidades de visualização microscópica com corantes, por exemplo, o que impediu a observação da morfologia interna da estrutura de um organismo unicelular. Embora Lamarck defendesse tais ideias, não apresentava evidências para fundamentar as explicações supracitadas (*ibid*.).

A geração espontânea, para Lamarck, daria origem ao início da cadeia (a cadeia do ser) que por meio de um “fluido nervoso” direciona a um progresso em cada espécie ao longo do tempo. A diversidade observada entre plantas e animais era explicada pelo autor por meio da afirmação de que as espécies diferem na idade, assim, haveria espécies mais novas e simples e espécies mais velhas e complexas (FUTUYMA, 2009).

[8] Lamarck não admitia a existência de seres intermediários entre plantas e animais (MARTINS, 2014).

Além de discutir a origem dos seres vivos, Lamarck dedicou estudos acerca da transformação de animais e plantas ao longo do tempo. Para o autor, modificações externas do meio impõem modificações de hábitos nos organismos, o que implica modificações nos órgãos e em todo o corpo. Influenciados pelas variações de circunstâncias ao longo do tempo, os animais sofrem transformações lentas e originam toda a diversidade que conhecemos (MARTINS, 2007), desse modo, o meio atuava de forma ativa na transformação das espécies (MARTINS, 2014).

> Ele explicou que, em determinados locais, uma raça de moluscos teve a necessidade de apalpar o solo com sua cabeça. Isso fez com que os fluidos que circulavam no interior do corpo destes animais se dirigissem à cabeça. No decorrer de muitas gerações este processo fez com que surgissem as antenas. Ele esclareceu que elas só se conservariam se a necessidade de apalpar o solo se mantivesse (MARTINS, 2014, p. 11).

Para Lamarck, a geração espontânea esteve presente no início e permanece até os tempos atuais originando organismos simples, que se transformam e originam a diversidade de seres (MARTINS, 2007). Há uma tendência constante que aumenta a complexidade dos seres, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento até a fase adulta, quanto no que se refere aos grupos taxonômicos. Os grupos mais simples que surgem por geração espontânea são os organismos denominados pelo autor como “infusórios”, que equivalem – na concepção atual – às bactérias, protozoários e outros organismos microscópicos (MARTINS, 2014).

Sabe-se que o trabalho de Lamarck foi reconhecido e citado por Darwin (MARTINS, 2014). Lamarck foi pioneiro ao sistematizar a teoria transformacional e pode ser apontado como “o primeiro a tentar montar um esquema específico para explicar o mecanismo do processo evolutivo dos seres vivos” (FREZZATTI-JUNIOR, 2011, p. 792) ou “o primeiro a apresentar uma teoria de evolução coesa e que fazia sentido dentro de seu contexto” (MARTINS, 2014). Segundo Ridley (2006), dois séculos antes de 1859, já se comentava a respeito da possibilidade de as espécies se transformarem, mas nenhuma teoria satisfatória consolidou-se.

Lamarck considerava quatro leis em sua obra *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (publicada em 1816), sendo a primeira lei referente à tendência para o aumento de complexidade. O autor considerava que os organismos

incrementavam progressivamente complexidade e aperfeiçoamento. A segunda lei de Lamarck se referia ao surgimento de órgãos em função da necessidade, ou seja, diz respeito ao surgimento de inovação da forma. Quando Lamarck fazia menção a exemplos para a segunda lei, não havia alusão à vontade ou intencionalidade, inclusive o autor chegou a considerar que muitos organismos não possuem desejos ou intenções. O autor somente considerava que necessidades fisiológicas poderiam causar inovação evolutiva (MARTINS, 1997).

A terceira lei de Lamarck era referente ao desenvolvimento ou atrofia de órgãos em função de seu emprego, que corresponde a “lei do uso e desuso”, ou seja, refere-se à mudança do indivíduo. A quarta lei refere-se aos caracteres adquiridos que se tornam herdáveis, ou seja, o que é modificado na estrutura dos organismos é conservado e transmitido aos descendentes. Lamarck não se dedicou muito nem à defesa e nem à justificativa da quarta lei (MARTINS, 1997).

Para Lamarck, devido às diferenças ambientais onde cada espécie vivia, havia necessidades diferentes que exigiam uso de determinados órgãos mais que outros. O “fluido nervoso” seria atraído para os locais mais usados, aumentando órgãos. O contrário também era considerado por Lamarck, ou seja, órgãos menos usados tornavam-se menores pela menor intensidade de fluido nervoso (FUTUYMA, 2009).

> Ele explicou que as baleias atuais não apresentam dentes e não necessitam deles pois se alimentam de plâncton. Entretanto, em épocas remotas sua alimentação era diferente (alimentos sólidos) e elas tinham dentes pois necessitavam mastigá-los. Como as circunstâncias em que viviam mudaram e elas passaram a se alimentar de um tipo de alimento diferente, que não precisava ser mastigado, seus dentes foram se atrofiando até chegar a desaparecer (MARTINS, 2014, p. 11-12).

Lamarck explicava diversas situações de forma similar, como é o caso da explicação referente à escassa ingestão de alimentos que poderia conduzir à atrofia de órgãos do aparato digestório. Em suas explanações, Lamarck reunia de forma confusa casos de mudanças ao longo do decorrer de um ciclo de vida e casos de mudanças de espécies (que se referem à distinção entre tempo ontogenético *versus* tempo evolutivo). Havia necessidade de separação de tais dimensões para que houvesse mais plausibilidade nos exemplos elencados pelo autor (MARTINS, 2014).

A teoria dos caracteres adquiridos, frequentemente associada a Lamarck, não foi engendrada por ele. Trata-se de uma teoria muito anterior ao nascimento do autor (datada nos séculos V e IV a.C.) que representava uma concepção que recebia certa aceitação na época de Lamarck (MARTINS, 2015).

> Apesar de ser uma ideia bastante antiga e amplamente aceita durante muitos séculos, atualmente, de um modo geral, a herança de caracteres adquiridos em muitos casos continua a ser associada apenas a Lamarck e considerada como sua ideia original. É constantemente empregada como sinônimo de “Lamarckismo” ou confundida com a própria teoria de Lamarck (MARTINS, 2015, p. 69).

Darwin também assentia que caracteres adquiridos se transformavam em hereditários. O naturalista sustentava a hereditariedade de caracteres ganhos durante a vida do indivíduo por meio da teoria da pangênese, a partir da qual as partes do organismo enviariam partículas representativas (gêmulas) para compor os gametas (MARTINS, 2014; FREIRE-MAIA, 1988). Darwin defendia tão veementemente a herança dos caracteres adquiridos que incluía exemplos tais como o de uma vaca que acidentalmente perdeu parte dos chifres e teria descendentes também com a mesma parte dos chifres em falta (MARTINS, 2014). Assim, se uma região do corpo se alterasse, as partículas que as representavam também se modificariam.

> De acordo com Darwin, todas as partes do corpo expelem durante o tempo todo partículas imperceptíveis mesmo sob o microscópio chamadas gêmulas. Elas estão presentes nos fluidos corpóreos e são responsáveis pelas características das diversas partes do organismo. [...] No momento da fecundação, elas vão para os órgãos sexuais e gametas e são passadas para os descendentes durante o processo reprodutivo. Assim, por meio desta hipótese, Darwin podia explicar a variabilidade dos seres vivos e a herança de caracteres adquiridos, inclusive de mutilações. No caso da vaca que perdera um de seus chifres por doença, esta parte de seu corpo teria cessado de produzir gêmulas e consequentemente não as teria enviado para os órgãos sexuais e gametas, fazendo com que aquele descendente não recebesse as gêmulas expelidas por aquela parte e nascesse também sem ela (MARTINS, 2015, p. 77).

A pangênese foi defendida por Darwin segundo a fundamentação que o autor possuía apoiada em evidências disponíveis, que eram representadas por observações e experimentos próprios ou de criadores de animais domésticos (MARTINS, 2015); porém tal hipótese foi amplamente rejeitada a partir do reconhecimento concedido à genética (FREIRE-MAIA, 1988).

> Enquanto uma teoria satisfatória da hereditariedade não foi proposta, e não foi fornecida uma explicação para a origem da variabilidade, a herança de caracteres adquiridos manteve seu posto no pensamento evolutivo (JABLONKA; LAMB, 2010, p. 28).

Lamarck elaborou e sugeriu uma teoria inédita, de caráter transformacional, cujo foco das ações evolutivas é o indivíduo e suas transformações. Já Darwin, embora adepto da lei do uso e desuso e da lei dos caracteres adquiridos, cunhou uma teoria selecionista e o foco evolutivo passou a ser irredutivelmente coletivo, uma vez que as narrativas evolutivas necessitariam de um contexto populacional. Na teoria selecionista, a evolução ocorre pelas mudanças nas proporções dos componentes, pois há uma variação pré-existente entre os indivíduos e algumas variantes produzem mais descendentes do que outras (CAPONI, 2005).

Assim, ainda que Darwin tenha proposto a evolução em nível populacional, no livro *A origem das espécies* de 1859 constam os papeis da ação do uso e desuso nas modificações das estruturas e da herança dos caracteres adquiridos nas alterações ao longo das gerações. Vale ressaltar que embora na construção da teoria de Darwin concepções "equivocadas" de herança e de origem da variação estejam inclusas, para que a seleção natural fosse engendrada, não importaria qual a origem da variação (BIZZO; EL-HANI, 2009), assim, a teoria da pangênese e a lei dos caracteres adquiridos não impossibilitaram o delineamento da teoria da seleção natural. Em outras palavras, a perspectiva transformacional não impediu o delineamento da perspectiva selecionista[9].

Darwin dedicou tempo à leitura da obra *Essay on the Principle of Population* do economista Thomas Malthus (1766-1834), a qual ao enfatizar o conceito de luta,

[9] O mecanismo de transmissão por caracteres adquiridos foi duramente criticado desde os primeiros anti-lamarckistas, como o alemão August Weismann (BIZZO, 1991). Weismann defendia que células reprodutivas estariam isentas de qualquer influência do corpo e sustentava suas afirmações com experimentos, como aquele em que Weismann cortou caudas de ratos por várias gerações e observou que o tamanho da cauda não era alterado nos descendentes (FUTUYMA, 2009). A defesa pungente, unívoca e centralizada do autor pela seleção natural representava o chamado "neo-darwinismo", que era representado pela posição de centralizar a seleção natural como núcleo mais importante do darwinismo, ao recusar a herança dos caracteres adquiridos antes aceita por Darwin. Weismann chegou a afirmar que "toda a parte essencial de uma espécie não é meramente regulada pela seleção, mas produzida originalmente por ela" (MARTINS, 2003, p. 56). Os pressupostos da Síntese Moderna também não incluem e negam enfaticamente o conceito de caracteres adquiridos e a lei do uso e desuso. Apesar disso, atualmente autores como Jablonka e Lamb (2010), Francis (2015) e Skinner (2015) defendem a inclusão de uma herança cujo pano de fundo é a herança de caracteres adquiridos ao longo de um ciclo de vida - por meio da herança epigenética, simbólica e comportamental - na teoria evolutiva atual.

propiciou para Darwin o reconhecimento dos princípios que encadeiam a atuação da seleção natural (BOWLER, 1986). Malthus tratava da produção de alimentos e do crescimento populacional, discorrendo acerca da ocupação de áreas agrícolas e disputa territorial. Ao fazer alusão à competição por território, o autor defendia que haveria expulsão de vizinhos próximos e constantes disputas mediadas por luta. O autor também tratava da relação entre aumento de produção de alimentos e o aumento populacional, que sem limites, resultaria em uma limitação do suprimento alimentar para uma população de tamanho exacerbado (MALTHUS, 2005).

Darwin fundamentou-se no princípio de Malthus para explicar e fundamentar o cerne da ideia da seleção natural, pois associou tal princípio à constatação de que os seres vivos não conseguem utilizar todo seu potencial de crescimento populacional, pois permanecem com populações de número estável (MEYER; EL-HANI, 2005).

> Todo ser que durante o curso natural de sua vida produz vários ovos ou sementes tem de sofrer destruição durante algum período da sua vida, ou durante alguma estação, ou de vez em quando em algum ano, pois, de outro modo, segundo o princípio da progressão geométrica seu número serial logo extraordinariamente grande, que nenhuma região poderia suprir suas necessidades de alimentação. Consequentemente, como se produzem mais indivíduos que os que podem sobreviver, tem que haver em cada caso uma luta pela existência, já de um indivíduo com outro de sua mesma espécie ou com indivíduos de espécies diferentes, já com as condições físicas de vida. Essa é a doutrina de Malthus, aplicada com duplo motivo ao conjunto dos reinos animal e vegetal [...] (DARWIN, 1859, p. 66).

Darwin teve a oportunidade de viajar no *H.M.S. Beagle*, com a finalidade de realizar uma expedição. Darwin passou anos na viagem e observou florestas tropicais brasileiras, pampas argentinos e as Ilhas Galápagos, onde coletava exemplares e realizava observações que permitiram o início do questionamento referente à fixidez das espécies. Tais observações incluem a análise acerca das diferenças entre tentilhões de uma ilha para outra, e de tartarugas gigantes que também diferiam de uma ilha para outra (FUTUYMA, 2009).

Com condições financeiras confortáveis, Darwin pôde dedicar muito tempo aos estudos e levantamento de evidências acerca da evolução biológica. Em meio a produção de outras obras, Darwin elaborou *The Origin of Species* publicada em

1859, a qual foi revisada várias vezes, o que resultou em seis edições (FUTUYMA, 2009).

Diferente de Lamarck, Darwin defendeu que os seres vivos não são criados repetidamente, mas que descendem de ancestrais de espécies vivas ou extintas. Espécies mais aparentadas divergem de um ancestral recente por acúmulo de diferenças, enquanto grupos mais distintos descendem de um ancestral antigo e acumulam mais diferenças por um intervalo de tempo maior. No que diz respeito à descendência de ancestrais, portanto, Darwin desviou do padrão das ideias de seus antecessores, como Lamarck (FUTUYMA, 2009).

A teoria da seleção natural, entendida como um agente causal de mudança evolutiva para Darwin, difere profundamente da teoria transformacional lamarckista, uma vez que para Lamarck a mudança estaria presente em todos os membros (FUTUYMA, 2009).

Mayr (2005) refere-se ao trabalho de Darwin apontando as cinco principais teorias que constituem um todo indivisível: (a) evolução propriamente dita; (b) descendência comum; (c) gradualismo *versus* saltacionismo; (d) a multiplicação de espécies e (e) seleção natural. Tais categorias serão brevemente descritas a seguir:

a) Evolução propriamente dita: é a defesa de que os organismos são modificados ao longo do tempo. É a base sobre a qual estão acomodadas as outras quatro teorias evolucionistas.

b) Descendência comum: é a ideia de que os organismos descendem de ancestrais comuns. Pode também ser tratada como “ramificação”. Foi a teoria darwinista aceita com mais entusiasmo na época da publicação.

c) Gradualismo *versus* saltacionismo: Darwin defendia que a evolução é um processo gradual, uma vez que nunca ocorre aos saltos. Ainda que se trate de táxons superiores, Darwin defendia que houve diferenciação de grupos por transformação gradual.

d) A multiplicação de espécies: Darwin pôde concluir, por meio de análises referentes às espécies de aves das Ilhas de Galápagos, a especiação geográfica baseada no isolamento de variedades geográficas.

e) Seleção natural: a teoria que trata do mecanismo de mudança evolutiva (de autoria compartilhada com Alfred Wallace) representou uma explicação natural e a possibilidade de abandono de uma explicação sobrenatural. Assim, a seleção natural significava uma explicação mecânica para a diversificação, composta por duas etapas: a produção da variação e a discriminação por seleção e eliminação.

Segundo Mayr (2005), a ampliação da teoria da seleção natural deveria significar a rejeição de qualquer tipo de teleologia cósmica, muito embora nem todos fossem adeptos da ideia de abandonar a visão de que o mundo fora projetado por um Deus, para substituí-la por um processo mecânico.

Quando as ideias de Darwin chegaram ao público, a aceitação veio quase que unicamente dos estudiosos, uma vez que a população leiga não aceitava a teoria por ter pontos de discordância com as crenças religiosas vigentes na época. Alguns sentiam suas crenças religiosas violadas e muitos duvidavam que um processo mecânico atuante sobre variações genéticas poderia resultar em adaptação (FUTUYMA, 2009). Entre os cientistas, a evolução propriamente dita proposta por Darwin era gradualmente aceita, mas a seleção natural especificamente era alvo de rejeições, principalmente por ser entendida como um mecanismo completamente sujeito ao acaso (RIDLEY, 2006).

A rejeição inicial às teorias darwinistas se deve também ao fato de que Darwin apesar de apresentar observações que fundamentavam a teoria, deixou algumas lacunas nas evidências apresentadas. A maior delas era referente à natureza e às causas da variação hereditária (MEYER; EL-HANI, 2005). No livro *A Origem das Espécies*, como já foi colocado, Darwin fazia menção à herança de caracteres adquiridos, quando tratava do surgimento de variações herdáveis.

Ao final do século XIX, a seleção natural passou a ser motivo de debate, pois muitos cientistas ainda duvidavam do papel da mesma nas mudanças evolutivas, devido principalmente à ausência de explicações referentes aos mecanismos de herança (MEYER; EL-HANI, 2005).

A seleção natural era rejeitada principalmente pelos fisiólogos devido ao modo de pensar da fisiologia, que é focada no nível individual (organismo), assim

como ocorre no modo de pensar de teorias evolutivas transformacionais. A seleção natural é narrada em níveis irredutivelmente populacionais, um pensamento incompatível com a fisiologia. Somente a partir de 1940, com os experimentos viabilizados pelos modelos proporcionados pela genética de populações, a fundamentação empírica passa a garantir mais credibilidade à teoria da seleção. Segundo Caponi (2005), “Só então, quando as populações se transformaram em objeto de experimentação, é que os direitos e os poderes da seleção natural foram definitivamente reconhecidos” (p. 238).

A teoria que conseguiu estabelecer uma conexão entre a seleção natural de Darwin e a teoria mendeliana de hereditariedade foi elaborada por volta de 1930 por um conjunto de autores. Ao fazer tal junção, a evolução passou a ser explicada pela seleção natural operante nas variações das populações por meio dos conhecimentos a cerca da herança genética. Os conhecimentos da genética foram de grande importância para ampliar a aceitação do pensamento evolutivo, uma vez que introduziu o conceito de gene como unidade hereditária da informação biológica. Esse novo campo de conhecimento foi combinado com a teoria da seleção natural, o que resultou em uma nova teoria – a “Síntese Moderna”, “Teoria Sintética” ou “Síntese Evolutiva” (JABLONKA; LAMB, 2010).

O prestígio associado aos modelos matemáticos da genética de populações de Ronald Aylmer Fisher (1890-1962) e John Burdon Sanderson Haldane (1892-1964) da Inglaterra e Sewall Wrigh (1889-1988) dos Estados Unidos favoreceu a consolidação da Síntese Moderna, cujo arcabouço teórico ainda é parte dos livros de evolução, principalmente no que diz respeito aos modelos matemáticos de seleção natural atuante sobre um loco com dois alelos (ARAÚJO, 2006). A teoria matemática da genética de populações proporcionou uma interpretação a respeito da relação entre o conceito de mutação e o conceito de seleção natural na evolução adaptativa: a mutação é quase que a matéria-prima da seleção natural (FUTUYMA, 2009).

Estudos realizados com populações de mosca-da-fruta (*Drosophila melanogaster*) foram iniciados por Sergei Chetverikov (1880-1959) nos anos 1920 na Rússia e Theodosius Dobzhansky (1900-1975) deu seguimento nos Estados Unidos em 1927. Tais experimentos permitiram a observação de que populações

naturais não são homogêneas no que diz respeito a constituição genética, uma vez que há variantes que exibem a presença de mutações (FUTUYMA, 2009).

Na obra *Genetics and The Origin of Species* publicado em 1937, Dobzhansky descreveu a teoria da genética de populações e as diferenças genéticas entre espécies. Para tratar de padrões evolutivos descritos por paleontologistas e sistematas, Julian Huxley (1887-1975) escreveu o *Evolution: The Modern Synthesis,* publicado em 1942. De forma geral, o legado dessas e outras obras da época foram a ênfase na articulação entre a genética e a teoria evolutiva darwiniana (FUTUYMA, 2009). A evolução passou a ser explicada e balizada no pensamento de populações que possuíam variações genéticas que surgiam (ao acaso) por mutação e recombinação gênica (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010).

> As principais afirmações da Síntese Evolutiva são os fundamentos da biologia evolutiva moderna. Elas são conhecidas coletivamente como Teoria Sintética, e servem como uma sinopse de grande parte da teoria evolutiva contemporânea. Muitos desses pontos foram estendidos, exemplificados, esclarecidos ou modificados desde os anos de 1940. Embora alguns autores tenham desafiado ou mesmo rejeitado alguns desses princípios, a grande maioria dos biólogos evolucionistas hoje os aceita como válidos, usando-os como fundamentos para a pesquisa evolutiva (FUTUYMA, 2009, p. 26)

A mutação foi reconhecida como um mecanismo de taxa muito baixa, que não seria capaz de substituir um genótipo de uma população inteira. As alterações de proporções gênicas numa população seriam então ocasionadas por fatores ao acaso (deriva genética aleatória), ou por mudanças não-aleatórias (seleção natural) em razão de mais sobrevivência e reprodução de portadores de alguns genótipos e não de outros (FUTUYMA, 2009).

Também no arcabouço teórico da Síntese Evolutiva, houve introdução do conceito biológico de espécie, que concebe o isolamento reprodutivo fundamento em diferenças genéticas entre espécies, que está atrelado ao conceito de especiação – a origem de espécies a partir de um ancestral comum (FUTUYMA, 2009). Assim, a evolução das populações passa a ser entendida pelas modificações nas frequências gênicas devido aos seguintes fatores: deriva genética, fluxo gênico, e principalmente, por seleção natural. A diversificação se dá principalmente pela especiação, que normalmente supõe evolução gradual e isolamento reprodutivo entre as populações (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010).

Segundo a Teoria Sintética, o acúmulo gradual de diferenças genéticas, principalmente devido à atuação da seleção natural, resulta em novos táxons acima do nível de espécie pelos mesmos processos atuantes neste nível. Dessa forma, a macroevolução foi entendida como a microevolução desenrolada e acumulada em longos períodos de tempo (RIDLEY, 2006). A explicação do processo evolutivo não precisaria de qualquer outro mecanismo além da seleção natural e, no caso da origem de novas espécies, de mecanismos de isolamento reprodutivo (ALMEIDA; EL-HANI, 2010).

Vale ressaltar que a síntese foi engendrada por meio de integração, mas também por meio de exclusão (PIGLIUCCI; MÜLLER, 2010) uma vez que incluiu o darwinismo e a genética, mas manteve desconexas implicações de outras subáreas biológicas, um feito que repercute em muitos debates até os momentos atuais. Ainda que Fisher e Wright tenham desenvolvido em 1940 um modelo matemático que descrevia a mudança genética de populações por deriva genética (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011) – mudança de frequência alélica ocasionada pela amostragem de gametas – houve um processo de “engessamento” em torno da teoria da seleção natural, e, pouco se questionou no que se refere às limitações da abordagem genética reduzida ao modelo um loco dois alelos e às limitações do modelo adaptacionista de evolução (ARAÚJO, 2006).

Mesmo existindo uma teoria de evolução por um mecanismo não seletivo em 1940 (a deriva genética) os estudos empíricos eram interpretados frequentemente à luz da seleção natural somente.

Mooto Kimura (1924-1994), em 1968, propôs que as mutações por serem neutras em sua maioria, não são alvo de seleção natural, o que relegaria as mutações a um destino direcionado pela deriva genética. Ainda que a deriva genética já existisse como um conceito há anos, Kimura defendia que se tratava de um mecanismo evolutivo frequente, e, portanto capaz de explicar diferenças interespecíficas. Os esforços de Kimura, embora não tenham resultado em muita aceitação, pois houve discordâncias de outros pesquisadores, demonstram como a primazia quase completa dada à seleção natural incomodava pesquisadores da biologia, mesmo na década de 1960 e 1970 (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011).

Embora o darwinismo e a Teoria Sintética tenham oferecido contribuições cruciais para o corpo teórico da biologia evolutiva, o entendimento da evolução a partir de uma abordagem pluralista tem sido uma defesa pungente entre filósofos e epistemólogos da biologia.

Alguns autores se opõem à “simplicidade” da Teoria Sintética, principalmente no que diz respeito ao DNA-centrismo. Rose e Oakley (2007), por exemplo, argumentam que o grau de complexidade proveniente dos estudos genômicos são incompatíveis com modelos de “bibliotecas genéticas” da Teoria Sintética. Para os autores, o quadro teórico evolutivo contemporâneo questiona algumas premissas constantemente evocadas na Teoria Sintética, como: (a) compreensão do genoma como uma biblioteca bem organizada de genes, (b) genes tem funções simples que foram ajustadas por seleção natural e (c) a adaptação das espécies ocorre devido ao ajuste das funções bioquímicas às condições ecológicas.

Autores como Sean B. Carroll (2006) e Douglas J. Futuyma (2009) defendem que existem lacunas na Síntese Moderna, e que outros processos devem ser apontados para explicar a origem de novas estruturas. Freire-Maia (1988), Carroll (2006) e Almeida e El-Hani (2010) afirmam que tais apontamentos devem focar-se principalmente no estudo do desenvolvimento, ou seja, na perspectiva ontogenética, pois a criação de novos órgãos e estruturas depara com a limitação da seleção natural não ser criativa no nível individual, assim sem a atuação conjunta de outros processos evolutivos, não há resposta convincente para algumas perguntas.

Embora o darwinismo e a Teoria Sintética tenham oferecido contribuições grandiosas para o corpo teórico da biologia evolutiva, o entendimento da evolução por um processo mais pluralista se impõe como necessário para solucionar algumas lacunas. Segundo Oliveira (2015), a releitura das teorias é um percurso natural da ciência e, embora não seja possível romper com o passado, é possível revisitá-lo para o resgate de questões em aberto que não puderam ser respondidas.

> A interface entre o passado e o presente pode ser estabelecida se buscarmos em que momento a falta de dados empíricos impossibilitou que a pesquisa teórica e epistemológica fosse estruturada tal como é hoje e tal como será no futuro (OLIVEIRA, 2015, p. 50).

A Síntese Moderna é destituída de conteúdos de cunho ontogenético, uma vez que a embriologia estava restrita à manipulação de óvulos e embriões, e a biologia evolutiva estudava a variação genética das populações, sem considerar a relação entre genes e a estrutura corporal (CARROLL, 2006). O efeito do desenvolvimento sobre a evolução dos organismos esteve excluído do pensamento evolutivo por anos.

> Compreender o fenótipo em um sentido evolutivo requer a compreensão dos processos ontogenéticos pelo qual ele é produzido e as maneiras pelas quais esses processos podem ser alterados durante a evolução. Contudo, se um único alelo pode ser considerado como a causa de uma característica fenotípica, então é possível explicar características do organismo adulto sem qualquer referência aos processos ontogenéticos envolvidos. Na Síntese Moderna, todas as novidades evolutivas começam no interior das células, devido a alterações no núcleo, e tem um fluxo único em direção ao fenótipo (ARAÚJO; ARAÚJO, 2015, p. 273).

Vale ressaltar que a Síntese Moderna é capaz de responder pelas características gerais da evolução, e “nenhum dos eventos evolutivos descobertos até agora é incompatível com a teoria”. Ainda assim, a teoria geral dos mecanismos evolutivos pode ser considerada incompleta e não contempla a maioria dos eventos evolutivos individuais “Em outras palavras, ela requer uma teoria da biologia do desenvolvimento” (FUTUYMA, 2009, p. 649).

A ideia de que a teoria pode ser ampliada, por exemplo, pela perspectiva ontogenética, sem que se desconsidere a importância da seleção natural ou da deriva genética em narrativas de contexto evolutivo é defendida também por outros autores:

> Uma segunda teoria que, sem ser contrária a teoria da seleção natural, mas tampouco sem ser a sua auxiliar ou subsidiária, viria explicar aquilo que esta, por sua própria natureza, e não por uma limitação conjuntural, não podia explicar (CAPONI, 2011, p. 214).

Como já colocado, a influência da embriologia no processo evolutivo foi desconsiderada nos pressupostos da Síntese Moderna quando foi elaborada. Assim, qualquer imposição de ordem restritiva ou criativa que a ontogenia tenha sobre os organismos fora ignorada e a seleção natural ocupou o papel central entre os processos evolutivos.

Quando a ontogenia passou a ser objeto de estudo na busca por respostas evolutivas, ao contrário do que se pensava antes, que animais pouco relacionados teriam constituições genéticas completamente diferentes, foram constatados genes organizadores que eram encontrados tanto em drosófilas como em outros animais, inclusive no homem, responsáveis pela realização das mesmas funções. Assim, genes que controlam a embriogênese de drosófilas possuem homólogos exatos na maioria dos animais, inclusive no homem. Em outras palavras, todos os animais compartilham "*kits* de ferramentas" que contém genes diretores (genes homeóticos) que comandam os caminhos da formação dos organismos (CARROLL, 2006). Segundo Almeida e El-Hani (2010) "a descoberta dos genes homeóticos, em meados dos anos 1980, levou a uma explosão de atividade que resultou, na década seguinte, na construção da evo-devo" (p. 12).

Pode-se afirmar que o desenvolvimento tem relação direta com a evolução, uma vez que a diversidade morfológica pode surgir por meio de alterações nos embriões (CARROLL, 2006). As células durante o processo embriológico irão seguir por percursos de desenvolvimento, mas existe a possibilidade de alterações nos caminhos, o que representa a origem de muitas inovações morfológicas. Em tais casos, o gradualismo não ocorre, pois, a mudança morfológica pode ocorrer de forma muito rápida: um novo órgão ou plano corporal pode ser originado por apenas uma variação na regulação de genes, pois os "*kit*s de ferramentas" possuem fatores de transcrição e sinalizadores que controlam o desenvolvimento (GELLON; MCGINNIS, 1998).

Segundo Carroll, os genes organizadores do desenvolvimento passaram a ser denominados genes *Hox* e o controle gênico realizado por tais genes é mediado por fatores de transcrição (proteínas que são ligadas a seções do DNA com capacidade de regular a intensidade da expressão gênica). Assim, a determinação de um resultado final mediado pelo *kit* de ferramentas não é a composição desse *kit*, mas o modo de utilização.

Segundo Gabriel Gellon e William McGinnis (1998), os genes *Hox* foram inicialmente identificados na *D. melanogaster*, mas posteriormente também foram encontrados em insetos, vermes e mamíferos. Os autores explicam que por meio da

comparação dos padrões de expressão, os primeiros passos para a compreensão da base molecular dos padrões de desenvolvimento foram dados.

Segundo Kevin N. Laland *et al.* (2015), ao incluir a perspectiva da evo-devo, por exemplo, ao pensamento evolutivo, a diversidade das formas orgânicas passa a ser consequência da seleção natural apenas em parte, visto que uma trajetória evolutiva particular passa a ser entendida, também, por vias de desenvolvimento.

O desenvolvimento pode responder a questões evolutivas também devido às restrições embriológicas impostas ao surgimento de mudanças. Essa restrição implica mais semelhança entre seres vivos e no impedimento do surgimento de algumas inovações morfológicas e funcionais. Paul M. Brakefield (2006) pontua que são necessárias pesquisas que incluam as restrições e os padrões de desenvolvimento em uma perspectiva integrada com processos seletivos, para que seja possível a determinação dos vários fatores biológicos envolvidos na distribuição morfológica observada. Só deste modo seria possível, segundo o autor, determinar se uma distribuição é determinada por seleção, por padrões ontogenéticos ou por ambos. A biologia evolutiva do desenvolvimento, portanto, é entendida como fonte de padrões de variação fenotípica, de forma que pode direcionar a evolução (LALAND *et al*., 2015).

Defender a incorporação da evo-devo e da deriva genética às explanações evolutivas significa a agregação de um quadro de explicações que integra mais mecanismos biológicos ao entendimento da evolução biológica, de forma a atenuar a redução ao DNA-centrismo e à seleção natural.

Defenderemos nesse trabalho que um panorama explicativo mais amplo, que exceda o selecionismo estrito, é necessário para a formação de professores de biologia, visto que hoje se reconhece tanto casos em que a adaptação pode não incrementar aptidão à população[10]; quanto casos em que traços podem exibir mais

[10] Nem sempre após um episódio seletivo tem-se uma população com maior aptidão, tendo em vista desafios posteriores de natureza distinta que a população possa ter que enfrentar. Também há de se considerar que um traço selecionado positivamente pode estar associado a mais de uma característica do organismo, que sendo aumentada na população por seleção positiva pode não trazer somente vantagens, uma vez que não é representado somente pela característica-alvo. Por exemplo, se fizermos a suposição de que a postura bípede foi selecionada positivamente no homem por favorecer o carregamento dos filhos ou por favorecer o alcance de alimentos em locais altos,

adaptividade sem ser uma adaptação (ou seja, o traço não foi fixado por seleção natural), uma situação que pode ocorrer devido à fixação de um traço por deriva genética (SALZANO, 2012).

Se a fundamentação que compõe a teoria ensinada em disciplinas de evolução se mantém restrita à seleção natural, os estudantes da graduação estão propensos a um pensamento reducionista da evolução biológica, que concebe qualquer traço vivo como um resultado direto da ação seletiva.

> [...] a pergunta “Como a seleção natural contribui para explicar a existência dessa característica?” é, de uma perspectiva metodológica, perfeitamente aceitável para alguém que quer estudar a natureza. Mas ela só poderá ser perseguida com sucesso se o investigador permanecer atento a uma diversidade de explicações alternativas para a existência da característica, desde a de que ela existe porque a seleção natural a favoreceu diretamente, até a de que sua presença resulta de deriva. Se essas alternativas forem consideradas, a verdadeira complexidade do processo evolutivo estará sendo estudada [...] (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011, p. 190).

A defesa de um pluralismo de processos explicativos para a evolução biológica perpassa esse trabalho inclusive na sequência didática concretizada no GPEB. A discussão acima se faz necessária tendo em vista proposição de uma abordagem epistemológica acerca da evolução biológica e a proposição de uma interpretação plural das causas evolutivas que explicam os traços vivos. Uma discussão ampliada acerca de causas evolutivas na biologia será realizada nas próximas seções.

No próximo capítulo, visamos delinear formas adequadas e inadequadas de se tratar o conhecimento biológico, principalmente para fundamentar a argumentação relativa aos apontamentos didáticos que podem ser engendrados por este trabalho. Tendo em vista a linguagem como um fator que viabiliza o ensino, tratar da adequação de formas de discursos biológicos é tratar da necessidade de uma fundamentação teórica referente à epistemologia da biologia que subsidie a interpretação de ambiguidades e equívocos conceituais em formulações funcionais e evolutivas, tanto no discurso do professor quanto no discurso do estudante.

---

devemos também considerar que a modificação estrutural reduziu o canal de parto, o que significa um impedimento para o crescimento do crânio até o momento do parto.

A abordagem funcional, empregada para a interpretação da fisiologia e também presente na ecologia, é amplamente disseminada no discurso biológico e requer uma cuidadosa análise para que o discurso do professor não seja um fator que influencie negativamente a compreensão dos alunos referente às Ciências Naturais, principalmente quando um caráter explicativo funcional é extrapolado para explicações evolutivas.

3 O ESTUDO DAS CAUSAS NA BIOLOGIA

Ernst Mayr (2008) propôs que a biologia pode ser entendida com base em três tipos de perguntas: “o que?”, “como?” e “por quê?”. Perguntas do tipo “o que?” são referentes a descrições ou registros de observações. Várias áreas da biologia seriam iniciadas por uma fase descritiva e poderiam posteriormente ser tratadas de formas mais complexas. A biologia de processos, para Mayr, não é atendida apenas por perguntas do tipo “o quê”, mas também por perguntas do tipo “como?” e “por quê?”. Assim, os processos poderiam ser descritos em termos de biologia funcional (fisiologia desde o nível molecular aos órgãos completos) ou da biologia evolutiva (fatores históricos responsáveis por todos os aspectos dos organismos). A heurística da divisão explicativa dual de processos biológicos, segundo Mayr, auxiliou na resolução de embates conceituais e metodológicos da biologia.

Mayr (2008) subdivide o estudo das causas referentes a processos ou fenômenos em organismos vivos em questões referentes (1) às causas próximas (perguntas do tipo “como?”) e (2) às causas últimas ou causas remotas (perguntas do tipo “por quê?”). O autor atribui às perguntas de causas últimas respostas fundamentadas na seleção natural; causas próximas incluem a fisiologia das partes e do todo de um organismo, o desenvolvimento, e, a decodificação do programa genético e de programas somáticos[11]. Mayr salienta que causas próximas são mecânicas e afetam o fenótipo, a morfologia e o comportamento; enquanto as causas últimas são probabilísticas e alteram o genótipo e a história. Nas palavras do autor: “As causas próximas envolvem a decodificação de um programa genético ou somático existente; as causas últimas são responsáveis pela origem de novos programas genéticos e por suas mudanças.” (MAYR, 2008, p. 166).

A origem de um programa, para Mayr (2005), pode ser produto da evolução (como os programas genéticos) ou pode ser produto da incorporação de características em programas abertos[12] (o que para o autor refere-se apenas à

[11] Programas somáticos para Mayr (2005) correspondem aos estágios ontogenéticos que atuam conjuntamente com circunstâncias ambientais relevantes.

[12] No quadro teórico da Síntese Estendida, maior poder de incorporação de informação deveria ser concedido ao conceito de programas abertos, visto que características novas podem ser originadas em organismos por plasticidade do desenvolvimento ou por processos epigenéticos (ver mais em Ceschim, Oliveira e Caldeira, 2016).

incorporação de programas somáticos em casos referentes ao comportamento animal).

> A maioria dos programas que controlam o comportamento instintivo de insetos e de vertebrados inferiores parece ser, em grande medida, programas fechados. Não se sabe ainda até que ponto informação nova pode ser incorporada em programas supostamente fechados. Existem, no entanto, outros tipos de programa, *programas abertos*, que estão constituídos de maneira tal a poder incorporar informação adicional durante o curso da vida, adquirida por meio de aprendizado, condicionamento ou outras experiências" (MAYR, 2005, p. 72, grifo do autor).

É notável que Mayr ampara as causas finais nos pressupostos da Síntese Moderna. Críticos contemporâneos que debatem o modelo causal de Mayr enfatizam a desconsideração da influência dos processos de desenvolvimento, bem como a desconsideração da plasticidade fenotípica e da construção do nicho nas causas finais.

Kevin N. Laland, Kim Sterelny, John Odling-Smee, William Hoppitt e Tobias Uller (2011) questionaram a dicotomização das causas biológica ao defender que a "fragmentação" entre causa próxima e última impede a integração teórica de conteúdos provenientes de diferentes subáreas biológicas. A maior implicação de tal fragmentação, segundo os autores, é a marginalização da influência ontogenética na evolução, uma vez que mecanismos de desenvolvimento dos organismos são posicionados exclusivamente na classificação de causas próximas. Os autores explicam que Mayr, ao utilizar exemplos como o das migrações das aves para ilustrar as diferentes causas biológicas, esteve fundamentado em casos simples de fácil distinção entre causas próximas e últimas, o que é entendido pelos autores como uma "causalidade unidirecional". Defendem, porém, que há muitos casos que não são tão simples e que atuam segundo um modelo de "causalidade recíproca".

A seleção sexual do pavão é citada por Laland *et al.* (2011) para exemplificar a causalidade recíproca: a causalidade do traço masculino reside na relação entre a preferência da fêmea e a variação da característica morfológica do macho. Assim, a causa última do traço masculino é a preferência da fêmea (que pode ser herdada e modificada durante o desenvolvimento), enquanto a explicação da preferência da fêmea é a variação pré-existente na morfologia do macho. Nesse caso, causas próximas podem ser também causas últimas, pois a preferência da fêmea pode ser

modificada ao longo do desenvolvimento, o que seria inicialmente descrito como uma causa próxima, mas que ao ter efeito evolutivo, também deve ser entendida como causa última. Para os autores, casos de seleção sexual são muito adequados para exemplificar a causalidade recíproca e, neles, a origem do processo evolutivo é ambígua, pois o que é chamado de “ciclo de causalidade” tem um início incerto: começou na preferência prévia da fêmea ou começou na diferença morfológica do macho?

O argumento é que caracteres adquiridos em um ciclo de vida não devem ser entendidos somente como causas próximas, uma vez que oferecem inovações evolutivas e alteram as histórias seletivas. Para Laland *et al*. (2011), a teoria da construção do nicho também ilustra a causalidade recíproca, como ocorre no ambiente modificado por minhocas, que alteram a conformação e a composição química dos solos onde vivem, o que permite modificar a atuação da seleção sobre si mesmas e sobre as gerações subsequentes (herança ecológica). Também é feita alusão à herança cultural para exemplificar a causalidade recíproca, pois a transmissão humana no que diz respeito à leitura, escrita, normas, comportamento cooperativo, instituições e tecnologia exemplifica caracteres adquiridos que são transmitidos aos indivíduos em diferentes taxas. Ou seja, são causas próximas com reverberações evolutivas, assim, devem ser extrapoladas para causas últimas que explicam características humanas (*ibid*.).

A causalidade recíproca, para Laland *et al*. (2011), deveria ser estendida a todos os casos evolutivos, pois casos simples que seriam interpretados à luz da causalidade unidirecional, são na verdade, casos de causalidade recíproca, mas que exibem uma reciprocidade baixa ou nula. Ou seja, para os autores, a causalidade recíproca é a regra e não a exceção. Assim, em Laland *et al*. (2011) a principal discordância ao modelo de causalidade de Mayr reside na impossibilidade de se recorrer às causas próximas para explicar causas últimas na obra da Mayr.

Em outro trabalho publicado em 2013, Laland, Odling-Smee, Hoppitt e Uller expandem a discussão supracitada e atribuem implicações à ampla utilização do modelo de causalidade de Mayr entre os biólogos. Implicações tais como um possível impedimento de mais avanços na biologia evolutiva devido às divisões entre biologia evolutiva e disciplinas adjacentes, o que causaria obstruções em

debates contemporâneos. Para os autores, a teoria de Mayr, no início uma heurística útil, foi degenerada em uma convenção que originou divisões inadequadas entre áreas de estudo.

Os ecologistas e fisiologistas, por exemplo, balizados na dicotomia causa próxima-última, passam a interpretar a evolução como um processo histórico situado estritamente num passado remoto. Hoje se reconhece que a intersecção existente entre processos ecológicos e evolutivos devem compor uma concepção mais dinâmica do processo evolutivo (Laland *et al*., 2013).

A construção do nicho, citada nos argumentos dos autores (Laland *et al*., 2013) na defesa da causalidade recíproca, é empregada por se tratar de uma teoria que representa modificações realizadas por organismos nas próprias histórias seletivas, uma vez que alteram as condições do meio de forma a definir novas características às narrativas seletivas iminentes. Os fenômenos ecológicos têm repercussões evolutivas, e, para explicar causas finais de organismos que constroem os próprios nichos seria preciso recorrer, portanto, às causas próximas. Laland *et al*. (*ibid*.) concluem, de forma enfática, que no quadro teórico evolutivo contemporâneo há a necessidade de substituir a dicotomia de causas próximas e últimas pela causalidade recíproca.

Brett Calcott (2013), em discordância com o trabalho de Laland *et al.* (2011), publicou uma proposta de reinterpretação do modelo de causalidade biológica de Mayr. Segundo o autor, há uma falsa dicotomia no modelo de causalidade de Mayr. Brett Calcott (*ibid*.) destaca que distinguir causas próximas de causa últimas não é tarefa fácil, uma vez que diferenciar perguntas somente por meio da verificação das palavras “como” ou “por que” nas frases é insuficiente. Para distinguir de maneira adequada, segundo Calcott, seria necessário identificar se a análise trata de um interesse com relação a como um traço funciona em um dado momento (explicação sincrônica) ou se o interesse reside na mudança do traço ao longo do tempo (explicação diacrônica). A diferença entre um organismo saudável e um organismo doente, por exemplo, seria classificada como uma explicação sincrônica; assim como a explicação da diferença entre proteínas produzidas por diferentes indivíduos.

Para a mudança dos traços em função do tempo (explicação diacrônica) o autor fornece exemplos com duas perguntas: (1) quais foram as alterações da forma dos membros dos tetrápodes e de seus antepassados ao longo do tempo? (2) como o desenvolvimento dos membros dos tetrápodes e de seus antepassados mudou ao longo do tempo? (CALCOTT, 2013, p. 773). Na primeira questão é requisitada uma descrição relativa às diferenças entre as formas antigas e atuais. A segunda pergunta exige a citação de mecanismos ontogenéticos que causaram tais diferenças de formas, ou seja, a resposta deve conter a identificação de quais mecanismos do desenvolvimento originaram as diferenças fenotípicas. Ambas as perguntas tratam de questões diacrônicas, uma vez que não comparam diferenças entre variantes de uma população, mas mecanismos e formas de momentos diferentes de uma linhagem. A primeira pergunta questiona como as populações mudam ao longo do tempo (alterações de fenótipos ao longo do tempo); a segunda trata das diferenças entre os mecanismos individuais que permitiam a produção de fenótipos diferentes.

Calcott (2013) propõe então que não há apenas uma pergunta diacrônica, como propôs Mayr[13], mas duas perguntas: uma mecanicista e outra populacional. Ambas as perguntas respondem às causas últimas, embora sejam questões que tratam de diferentes aspectos da mudança evolutiva. Sendo assim, há mais de uma maneira de questionar causas últimas e também mais maneiras de responder tais questionamentos. O autor fundamenta seu argumento sistematizando o modelo de causalidade de Mayr e adicionando uma nova categoria nas causas últimas[14], como segue no Quadro 1.

Assim, para Brett Calcott (2013), a referência às diferenças entre indivíduos de uma mesma linhagem – que difere da referência às diferentes variantes de uma população atual (explicação sincrônica) – não trata de causas próximas, uma vez que as diferenças representam épocas distintas, situadas em explicações diacrônicas. As diferentes descrições da forma observadas ao longo de uma

[13] Nesse caso o autor faz alusão ao emprego da seleção natural (perspectiva populacional) como a única questão diacrônica utilizada na teoria de Mayr.

[14] A subdivisão de duas categorias de causas últimas representaria para o autor o fim de uma dicotomia propriamente dita entre causa próxima e última, visto que Calcott (2013) altera a proposta de Mayr de tal forma que passam a existir três categorias (sincrônica, diacrônica individual e diacrônica populacional).

linhagem não se encaixam, segundo o autor, em nenhuma das duas categorias de Mayr (sincrônica-individual ou diacrônica-populacional) o que estimulou o autor a acrescentar às causas últimas a categoria de fatores individuais-diacrônicos.

A categoria de Calcott (2013) de mudança diacrônica-individual em vez de explicar as diferenças entre as variantes dentro de uma população (uma explicação sincrônica), explica as diferenças entre os mecanismos relacionados que existiram em épocas diferentes (portanto, diacrônica). Ou seja, explicações diacrônicas se referem às alterações de um mecanismo subjacente que foram suficientes para produzir diferenças fenotípicas. Assim, Calcott conclui que o grande problema na distinção de Mayr é a simplicidade das categorias[15].

Quadro 1- Distinção entre categorias de causas próximas e últimas segundo Calcott (2013)

Autor da proposição	**Tipo de causa**	**Localização temporal do tipo de causa**	**Objetivos explanatórios**
Ernst Mayr	Causa próxima	Sincrônico e individual	Como funcionam os indivíduos no momento atual?
Ernst Mayr	Causa última	Diacrônico e populacional	Como as populações mudaram ao longo do tempo?
Brett Calcott		Diacrônico e individual	Como os indivíduos mudaram ao longo do tempo?

Fonte: elaborado pela autora

Raphael Scholl e Massimo Pigliucci (2015) também realizam uma discussão a respeito do modelo de causalidade biológica de Mayr. Os autores tentam ressignificar as críticas à distinção entre causas próximas e últimas, principalmente no que diz respeito à omissão de alguns tipos de causalidade apontada por alguns autores como Laland *et al*. (2011; 2013). É proposta uma substituição da perspectiva da "omissão de causas"[16] pela perspectiva de uma abstração (ou dispensa)

[15] Há de se ressaltar a diferença entre a proposta de Laland *et al.* (2011; 2013) e Calcott (2013): em Laland *et al.* (*ibid.*) os autores se opõe ao uso da dualidade de Mayr, pois propõe a substituição dela pela causalidade recíproca. No entanto, Calcott (*ibid*.) não se opõe ao uso da dualidade de Mayr, apenas descreve que há uma falsa dicotomia, pois há o acréscimo de mais uma categoria às causas últimas.

[16] A expressão "omissão de causas" representa a visão defendida por Laland *et al*. (2011), na qual defendem que Mayr marginaliza a perspectiva ontogenética, por exemplo, nas causas últimas.

explicativa em modelos causais que possam ser entendidos à luz de uma versão “atenuada” da distinção de causas próximas e últimas.

Os autores defendem que a causalidade recíproca de Laland *et al*. (2011) não atende a todos os eventos evolutivos, como o caso de a evolução ser dirigida por padrões de desenvolvimento, uma vez que a direção da evolução é preponderantemente orientada segundo as variantes ontogenéticas disponíveis. Os autores explicam que não é preciso descrever o modelo de Mayr em termos de “omissões de fatores causais”, mas sim atribuir quais fatores são relevantes em determinada explicação.

Scholl e Pigliucci (2015) propõem que as abstrações, ou dispensas explicativas, não devem ser concebidas como declarações referentes à irrelevância causal: apenas uma insignificância explicativa está implícita. Os autores ressaltam que na perspectiva de abstração, a pergunta chave é “em quais situações a seleção natural pode ser entendida como a principal causa de explicações evolutivas?”. Há casos em que os fatores ontogenéticos acrescentariam detalhes mecanicistas mínimos, enquanto a seleção natural seria preponderante. Assim, há transições evolutivas que não tiveram contribuições da plasticidade fenotípica ou da construção do nicho (porque o ambiente se manteve estável em aspectos importantes) e haverá mais ênfase ao processo de seleção natural. No entanto, se a seleção natural desempenhou um processo redundante e houve direcionamento por padrões ontogenéticos, maior poder explicativo será delegado ao desenvolvimento.

Scholl e Pigliucci (2015) concluem que uma abordagem adequada é pensar que os modelos causais completos das mudanças evolutivas terão abstrações, que serão determinadas pelas partes desse modelo que possuem maior ou menor poder explicativo. Assim, alguns processos serão promovidos, enquanto outros serão rebaixados (abstraídos). Para os autores, é possível manter a distinção de Mayr entre causas próximas e últimas porque elas respondem a perguntas contrastantes.

Concernente à relação causas próximas-últimas, Jun Otsuka (2015) elaborou modelos matemáticos com a finalidade de propor a integração dos fenômenos classificados como causas próximas (tais como processos de desenvolvimento e interações ecológicas) em equações que incluem fenômenos com efeito evolutivo.

Mecanismos epigenéticos, por exemplo, que seriam uma causa próxima por excelência (uma vez que tratam de processos químicos que acontecem durante a vida de um organismo) conecta fenótipos parentais aos dos descendentes, ou seja, afeta a evolução ao introduzir uma via extra de herança. Ao influenciar no resultado das reproduções das populações bem como nos componentes estatísticos populacionais, a herança epigenética seria um fator de causa próxima que afeta causas últimas. O autor, ao propor equações que relacionam efeitos evolutivos de herança epigenética e construção do nicho, por exemplo, defende que é possível a construção de um procedimento sistemático que traduza qualquer tipo de interação entre um mecanismo causal próximo e as consequências evolutivas (ou últimas). O autor defende que a dualidade causal de Mayr não é irrelevante, mas que os dois conceitos de causalidade estão fortemente intrincados.

Tanto a seleção natural quanto à perspectiva ontogenética podem compor, inclusive simultaneamente, narrativas evolutivas; porém Mayr (2005) considerava a seleção natural como a principal causa das explicações evolutivas, de forma a prescindir frequentemente o desenvolvimento. A predileção do autor pela seleção natural coincide com o quadro teórico da Síntese Moderna. Ainda que sob a égide da Síntese Moderna, o autor incluía em suas obras considerações acerca de alterações fenotípicas causadas por fatores extragenéticos e acerca da influência ontogenética na evolução. Alguns trechos de obras de Mayr serão apresentados abaixo tendo em vista a exposição relativa a quais considerações o autor fez ao se deparar com tais discussões.

Mayr, na obra *Biologia, ciência única* (2005), propõe que é preciso reconhecer a importância de “programas somáticos”. O autor explica que organismos portadores de programas genéticos têm instruções dispostas no DNA do genótipo e podem ser dos tipos abertos ou fechados, sendo “programas abertos” aqueles que são capazes de incorporar informação adicional durante o tempo de vida, por aprendizado, condicionamento ou outras experiências. Os programas somáticos, todavia, seriam os estágios de ontogenia que atuam conjuntamente com circunstâncias ambientais relevantes. Mayr acrescenta que um programa somático pode ser originado por evolução como os programas genéticos, mas também podem provir de informações adquiridas ao longo da vida em programas abertos.

Na obra *Isto é biologia: a ciência do mundo vivo* (2008), Mayr inclui um tópico denominado “Desenvolvimento e biologia evolutiva”, em que discute a relação entre o desenvolvimento e a evolução. A principal discussão é centrada nas restrições impostas pelo desenvolvimento às mudanças evolutivas. O autor reconhece que alguns fenômenos possam deixar de ser explicados somente por seleção natural, como as estruturas vestigiais, que permanecem nos organismos devido a um controle genético que por coordenar várias funções, pode dar manutenção a uma estrutura vestigial concomitantemente (uma perspectiva ontogenética ou mecanicista). Assim, a seleção natural, que selecionaria positivamente as demais funções sob tal controle genético, mantém a estrutura vestigial (que está presente devido às causas ontogenéticas).

Não convém desprestigiar as obras de Mayr com base comparativa nas perspectivas atuais, uma vez que, mesmo imerso no quadro teórico da Síntese Moderna, o autor incluiu fatores importantes à discussão da biologia evolutiva, inclusive à discussão contemporânea. Ainda que desconhecesse os conceitos recentes provenientes dos atuais estudos empíricos e filosóficos da biologia evolutiva, Mayr (2005; 2008) reconheceu a importância de extrapolar a centralização na genética e na seleção natural para explicar a diversidade dos organismos.

Não obstante a relevância de reconhecer as críticas dirigidas a uma divisão estática entre causas próximas e últimas, adotamos aqui a posição de que há de certa forma um caráter heurístico em tal dualidade causal (um argumento que será explorado nos próximos tópicos). Nem todos os fenômenos explicados por causas próximas têm efeitos de mudança evolutiva (como ocorre quando uma modificação de fenótipo não altera o *fitness* de um organismo e não há hereditariedade envolvida em tal modificação), o que justifica a manutenção da dualidade. Além disso, dispor de uma diferenciação entre causas próximas e últimas não impede que sejam realizadas análises de causas próximas com repercussões nas causas últimas.

Um processo evolutivo pode ser estudado à luz de uma análise de causas últimas que se traduza em narrativas históricas referentes a uma dinâmica populacional ao longo do tempo, mas também pode ser balizada (a) na análise de causas próximas que reverberam implicações de causas últimas (como ocorre em alterações epigenéticas e na construção do nicho) e (b) na análise de alterações

mecânicas ao longo de uma linhagem. Como colocam Callebaut, Müller e Newman (2007), a ontogenia é a causa mecânica da filogenia, sendo que enquanto a ontogenia é um processo mecânico, a filogenia é um processo histórico. A perspectiva da evo-devo, nesse contexto, passa a fundamentar explanações evolutivas que requerem o respaldo de como ocorreram as modificações mecânicas dos organismos.

Admitimos a necessidade de um acréscimo da categoria diacrônica-individual às causas últimas, segundo Calcott (2013), bem como a ideia de que abstrações explicativas podem ocorrer quando é determinado o fator causal que desempenhou maior repercussão evolutiva em um dado fenômeno, segundo a proposta de Scholl e Pigliucci (2015). Para mais aprofundamento epistemológico acerca das questões levantadas nesse tópico, trataremos da articulação da evo-devo ao quadro teórico da Síntese Moderna e das implicações de tal articulação no que diz respeito às causas próximas e últimas no tópico subsequente.

3.1 Uma discussão da dualidade causas próximas-últimas que articula biologia do desenvolvimento, evo-devo, ecologia e seleção natural.

Para mais esclarecimento acerca da reintrodução de uma perspectiva de análise individual e transformacional ao quadro teórico evolutivo contemporâneo, tendo em vista a centralização em torno de uma perspectiva populacional e selecionista consolidada pela Síntese Moderna, faz-se necessária a discussão acerca da articulação entre a evo-devo e o arcabouço teórico pré-existente. A evo-devo é vinculada à uma interpretação transformacional de evolução; assim, a articulação entre evo-devo e Síntese Moderna representa um desafio epistemológico que pretendemos explorar nesse tópico com fundamentação balizada na discussão realizada por Gustavo Caponi (2011).

Reconhece-se atualmente que restrições (ou constrições) de caráter ontogenético impedem que determinadas inovações morfológicas ou funcionais sejam concebíveis, sendo que tais restrições à inovação fenotípica podem representar o estabelecimento de viéses de desenvolvimento capazes de originar tendências fenotípicas (BRAKEFIELD, 2006).

> [...] as constrições desenvolvimentais sobre as que tanto insistem os teóricos da evo-devo são forças que preservam certos esquemas morfológicos ancestrais e nos permitem explicar as semelhanças existentes entre diferentes táxons, não obstante as diferentes pressões seletivas a que eles estão, ou estiveram, submetidos (CAPONI, 2011, p. 213)

Tratar de questões ontogenéticas na teoria evolutiva é uma questão crucial para a caracterização da evolução biológica, principalmente no que diz respeito à evolução animal. Há autores, como Gustavo Caponi, que se dedicam à análise referente aos modos possíveis de articulação da biologia evolutiva do desenvolvimento à Síntese Moderna para propiciar a compreensão de quais implicações conceituais serão engendradas por meio da associação dos dois corpos teóricos.

Ao tratar da incorporação da evo-devo ao quadro explicativo da Síntese Moderna, o primeiro encadeamento é a admissão de poder explicativo à evo-devo em detrimento da (quase) exclusividade explicativa da seleção natural. Ou seja, a evo-devo também pode explicar a distribuição de características dos seres vivos, associada (ou não) com narrativas de seleção (ver mais em CESCHIM; OLIVEIRA; CALDEIRA, 2016).

A segunda implicação da articulação da biologia do desenvolvimento à evolução biológica é o antagonismo aparentemente erigido entre as perspectivas transformacional e selecionista, um ponto importante a ser esclarecido considerando a proposição de Brett Calcott (2013) supracitada nesse trabalho. Como pontuamos anteriormente, Calcott introduz uma nova categoria de análise de causas últimas caracterizada por ser “individual diacrônica”, que corresponde às questões referentes à mudança morfofisiológica dos organismos ao longo do tempo e aos mecanismos adjacentes a tais mudanças.

Se o pensamento selecionista de Darwin e da Síntese Moderna é irredutivelmente coletivo, por se tratar de mudanças de proporções em populações, como se pode considerar uma análise de causa última (causa evolutiva) de caráter individual, como propõe Calcott (2013)?

Caponi (2011) pontua que é preciso diferenciar a teoria lamarckiana da teoria darwiniana no seguinte aspecto: para Lamarck, a principal finalidade de suas

discussões era responder como organismos passam a possuir a forma que exibem; para Darwin, o objetivo era explicar a composição populacional. Nas palavras do autor “enquanto a teoria darwiniana explica perfis populacionais, as teorias transformacionais explicam perfis orgânicos individuais (p. 217)”.

O retorno do interesse pelas transformações de perfis orgânicos imposto pela evo-devo significa a admissão da busca por respostas de caráter ontogenético para a formulação de explicações filogenéticas. A busca de resposta estaria voltada para as alterações ontogenéticas que foram permitidas ou impedidas, pois, para que houvesse o crivo da seleção natural, a matéria-prima sobre a qual um processo seletivo atuaria fora antes constituído por decorrência dos viéses ontogenéticos que permitiram a produção fenotípica de populações.

Por que há referência ao nível individual quando se trata da evo-devo? Caponi (2011) explica que não se trata de retornar à herança de caracteres adquiridos, mas de falar de uma “seleção interna” realizada durante o curso ontogenético, que necessariamente ocorre ao nível individual.

A terceira questão que emerge da articulação entre biologia do desenvolvimento e evolução biológica é referente à dualidade de causas próximas e últimas de Mayr (2008). É relevante o estabelecimento da relação entre causas próximas e últimas ao arcabouço teórico da evo-devo, pois quando se trata do nível individual é comum que o raciocínio seja associado às causas próximas. Como interpretar processos de nível individual em uma perspectiva de causas últimas?

Vale novamente retomar as distinções entre análise sincrônica e diacrônica de Brett Calcott (2013): para o autor, uma análise sincrônica diz respeito a uma análise referente à funcionalidade de organismos em um dado momento, sem o estabelecimento de comparações com outros momentos da história filogenética. A análise diacrônica, ao contrário, trata do elenco de bases comparativas que podem ser levantadas por meio de informações referentes à forma e aos mecanismos que originam a forma ao longo do tempo evolutivo.

Retomamos este ponto da discussão para realizar uma síntese que possa contemplar esclarecimentos referentes à articulação entre a epistemologia relativa

ao conhecimento da evolução biológica e à dualidade das causas próximas e últimas.

Para Caponi (2011), é preciso fazer uma distinção importante entre biologia do desenvolvimento e biologia evolutiva do desenvolvimento (evo-devo), pois a seleção interna (ou seleção desenvolvimental) ocorre notavelmente de uma forma que pode ser classificada como causa próxima, por ser atuante sobre processos ontogenéticos individuais (tempo ontogenético). Porém, ao mesmo tempo, há de se considerar que as repercussões evolutivas de tais processos ontogenéticos podem ser interpretados como causa remota, pois haverá consequências determinantes na filogenia em questão.

Caponi (2011) defende que a distinção biologia do desenvolvimento *versus* biologia evolutiva do desenvolvimento é similar à distinção que ocorre entre seleção natural e ecologia: a seleção natural é o efeito de fatores ecológicos atuantes sobre uma população.

> A ecologia provê o conhecimento das interações entre o vivente e seu meio, e essas interações são a base das pressões seletivas estudadas pela biologia evolutiva clássica; mas a essa disciplina só interessam os efeitos, frequentemente as mudanças, que essas interações produzem na composição das populações (CAPONI, 2011, p.219).
>
> De modo análogo a como a seleção natural orienta a evolução de uma população reforçando ou punindo certas alternativas, a seleção do desenvolvimento guia a evolução do *phylum*, aceitando ou rejeitando certas variantes em virtude da possibilidade de elas gerarem reprogramações viáveis da ortogênese (CAPONI, 2011, p.218).

Em resumo, podemos comparar a relação entre seleção natural e ecologia com a relação que existe entre biologia evolutiva do desenvolvimento e biologia do desenvolvimento (CAPONI, 2011).

> Do mesmo modo que os fatores ecológicos somente se transformam em causas remotas quando projetados no tempo evolutivo, os fatores embriológicos também poderiam ser considerados como causas remotas quando se analisa o seu impacto filogenético (CAPONI, 2011, p.220).

Essa discussão ratifica a defesa da compatibilidade da evo-devo ao quadro teórico da Síntese Moderna, pois a perspectiva individual e diacrônica da evo-devo não rompe com a perspectiva coletiva e selecionista.

Para concluir a discussão, é importante a retomada e síntese dos principais pontos levantados.

Na proposta de Calcott (2013), três classificações foram delineadas: nas causas próximas havia a categoria de análise “sincrônica individual”, enquanto nas causas últimas havia duas categorias, a “diacrônica populacional” que equivale ao arcabouço teórico da Síntese Moderna ou perspectiva seletiva, e a “diacrônica individual” que corresponde a uma perspectiva transformacional.

Gostaríamos de propor que uma categoria adicional poderia ser acrescida à proposta de Calcott (2013), pois se acertadamente o autor distinguiu as perspectivas populacional e individual nas causas últimas, por que não incluir as duas dimensões também nas causas próximas? O que pretendemos considerar com tal questionamento é se não seria adequada a inclusão de uma categoria denominada “sincrônica populacional” às causas próximas. A categoria sincrônica populacional corresponderia aos aspectos ecológicos presentes nas “causas próximas”. Tal inclusão permite a distinção dos aspectos morfofuncionais ao nível individual de causas próximas relativos à categoria denominada “sincrônica individual” *versus* aspectos ecológicos relativos à categoria “sincrônica populacional”.[17]

Desenroladas ao longo do tempo, tanto a categoria “sincrônica individual” quanto a “sincrônica populacional” (causas próximas) podem ter repercussões evolutivas que se traduzem nas categorias “diacrônica individual” e “diacrônica populacional” (causas evolutivas), respectivamente. Em outras palavras, as restrições e inovações ontogenéticas estão localizadas nas causas próximas, mas podem ter repercussões evolutivas porque podem determinar filogeneticamente a história de grupos de seres vivos. As dinâmicas populacionais intra e interespecíficas (localizadas em causas próximas) – que representam a ecologia – podem ter também reverberações evolutivas que podem ser tanto seletivas, quanto referentes a episódios de deriva genética.

[17] É importante ratificar que trata-se de uma proposta de ressifignificação da dualidade de causas próximas e últimas de Ernst Mayr, visto que o autor restringe causas próximas ao nível orgânico (fisiologia e ontogenia) . Aqui estamos concebendo a “causa próxima” como uma causalidade com caráter sincrônico (seja no nível orgânico ou ecológico), cuja análise distingue-se da causa última que tem caráter diacrônico.

A biologia do desenvolvimento estaria classificada na categoria “sincrônica individual” e a biologia evolutiva do desenvolvimento na categoria “diacrônica individual”. A ecologia estaria classificada na categoria “sincrônica populacional” e a seleção natural (assim como a deriva genética) estariam classificadas na categoria “diacrônica populacional”.

É preciso considerar que Mayr (2008) não fez alusão à ecologia nas causas próximas, visto que fazia constantemente apontamentos aos aspectos constitutivos e funcionais do organismo para delinear as causas próximas, como no trecho “todas as atividades ou processos que envolvem instruções de um programa são causas próximas. Isso significa, particularmente, a causação de processos fisiológicos, de desenvolvimento e comportamentais” (p.101). Os aspectos intrínsecos ao organismo empregados pelo autor para caracterizar as causas próximas também podem ser identificados no trecho:

> Na biologia funcional, bem como em todos os aspectos da fisiologia – do nível molecular até o dos órgãos completos –, as pesquisas lidam primariamente com perguntas do tipo “Como”. Como determinada molécula desempenha sua função? por que via um órgão completo funciona? Tais questões, que lidam como o aqui e o agora, são conhecidas como o estudo das causas próximas” (MAYR, 2008, p.161).

Ainda que não tenha inserido abordagens ecológicas às respostas para perguntas de causas próximas, Mayr (2008, p.161) faz – no trecho supracitado – uma consideração compatível com a discussão desse trabalho: “Tais questões, que lidam como o aqui e o agora, são conhecidas como o estudo das causas próximas”. Questões “que lidam com o aqui e o agora” se configuram como análises sincrônicas e podem se referir – segundo a proposta defendida nesse trabalho – também aos aspectos ecológicos, que passariam a ser admitidos também nas causas próximas[18].

Essa forma de interpretação biológica pode representar uma potencialidade heurística que viabilizaria a generalização para a interpretação de vários casos, como por exemplo, as especiações. Dadas as diferentes formas de especiações (alopátrica ou simpátrica, por exemplo), o isolamento reprodutivo seria entendido

[18] Discutir a relação entre ecologia e evolução é uma preocupação que o próprio Mayr (2008) tinha, ao afirmar, por exemplo, que “É o ambiente, tanto o biótico quanto o físico, que desempenha o papel fundamental na seleção natural” (p.282).

como um processo representado por mecanismos de causas próximas (incompatibilidade de gametas, incompatibilidade comportamental, isolamento geográfico e outras situações). A consequente especiação, que determina filogenias, é por si só uma repercussão evolutiva de tal isolamento reprodutivo, que pode ser situada nas causas remotas: a comparação diacrônica (que inclui diferentes temporalidades) permitiria o apontamento da nova espécie formada, que em outro momento do tempo ainda não existira.

Também seria uma ferramenta frutífera para a interpretação da teoria de construção do nicho, pois populações modificam o ambiente ativamente (análise sincrônica populacional) de forma a alterar as dinâmicas seletivas que atuam sobre tais grupos e repercutem alterações populacionais ao longo do tempo (análise diacrônica populacional).

A causalidade recíproca de Laland *et al.* (2011; 2013), a categorias de Calcott (2013) e a proposta acerca da abstração explicativa de Scholl e Pigliucci (2015) não necessariamente precisam ser vistas como propostas excludentes. Há contribuições teóricas significativas de cada uma delas no que diz respeito à epistemologia da biologia. As causas próximas e últimas configuram uma dualidade notavelmente representada por um cenário de muita integração e representam uma ferramenta que viabiliza a lógica explicativa e os estudos epistemológicos da biologia, o que pode favorecer também a fundamentação da didática da biologia.

Uma possível forma de enfrentar a problemática em torno da questão do estudo das causas em biologia é se referir a *causas próximas que tenham ou não repercussões evolutivas*. Trata-se de uma maneira viável de conservar a dualidade de causas biológicas proposta por Ernst Mayr (2008), e essa talvez seja a ideia que representa um denominador comum entre as propostas supracitadas.

Optamos por incluir a discussão acima ao trabalho, visto que o modelo explicativo de Mayr é hoje alvo de debates que não devem se manter inexplorados, uma vez que, tendo em vista a inclusão da perspectiva ontogenética ao recorte teórico que foi introduzido ao GPEB, faz-se necessária a discussão referente aos acréscimos e considerações dos autores citados no que diz respeito ao papel da ontogenia nas causas últimas.

Também gostaríamos de pontuar que, embora a perspectiva da eco-evo-devo (que compõe hoje grande parte da fundamentação teórica da Síntese Estendida)[19] tenha acrescido grande poder explicativo à teoria evolutiva, não houve inclusão de tal arcabouço teórico ao GPEB, por duas justificativas: (1) a literatura ainda encontra-se não traduzida para a língua portuguesa e o grupo de alunos declarou não ter habilidade para a leitura na língua inglesa; o que demandaria a tradução prévia dos artigos (uma tarefa inviável devido ao prazo de produção da dissertação); (2) a eco-evo-devo ainda não compõe o material didático do Ensino Superior, enquanto a evo-devo já está presente em tais materiais[20] e há literatura disponível e traduzida para a língua portuguesa também em livros paradidáticos.

3.2 Conceito de função em biologia

Nas causas biológicas próximas, as causalidades fisiológicas e ontogenéticas são perpassadas por proposições relativas à funcionalidade. O conceito de função é alvo de um embate filosófico que foi intensificado principalmente após a ascensão da seleção natural concebida como um fator causal evolutivo preeminente (sob a perspectiva da Síntese Moderna).

Os debates contemporâneos podem ser classificados em duas principais vertentes: “efeito selecionado” *versus* “papel causal” (AMUNDSON; LAUDER, 1994); que equivalem, segundo Caponi (2012) à “concepção etiológica de função” *versus* “concepção sistêmica (ou processual) de função”, respectivamente.

A função entendida pelo *efeito selecionado* constitui o *conceito etiológico de função*, uma denominação que é justificada pela caracterização das explicações engendradas nessa perspectiva: as funções são explicadas por um viés histórico que trata da origem de uma determinada função mediada por seleção natural. Assim sendo, a função de uma característica é sua finalidade evolutiva, representado pelo efeito para o qual um traço foi favorecido pela seleção natural (CHEDIAK, 2011). Tal abordagem é de autoria de Larry Wright (1973).

O outro polo da discussão, a concepção sistêmica (ou processual) de função – também denominada “concepção analítica de função” por Chediak (2011) –

[19] Ver mais em Ceschim, Oliveira e Caldeira (2016).
[20] Como constatou Bittencourt-dos-Santos (2013).

contempla a proposta do entendimento da função como um papel causal e tem como maior expoente o autor Robert Cummins (2002)[21]. Na concepção analítica, a função é conceituada de forma não-histórica e é entendida em termos de propriedades atuais de um indivíduo que contribuem para responder às necessidades, finalidades e objetivos de um organismo, especialmente as que possuem significado evolutivo para a sobrevivência e reprodução do ser vivo. Nessa concepção de função são tratadas as causalidades de um traço e não as origens causais desse traço, assim, certamente trata-se de análises não seletivas (AMUNDSON; LAUDER, 1994).

> Explicações funcionais respondem à questão de se saber qual é o papel desempenhado por um elemento, parte de um sistema, na capacidade e atividade total do sistema a que ele pertence [...] A abordagem analítica requer a determinação do sistema considerado, pois é somente do ponto de vista da capacidade do sistema como um todo que é possível se fazer a análise funcional (CHEDIAK, 2011, p. 89).

Assim, como pontua Chediak (2011), a diferença fulcral entre a concepção etiológica e a concepção analítica de função consiste em que a primeira pretende, além de identificar um papel desempenhado por um traço dentro de um sistema, identificar também o porquê (evolutivo) da presença do traço no sistema.

Ron Amundson e George V. Lauder (1994) afirmam que o conceito de função balizado no valor seletivo e na história seletiva de um traço é comprometido com um alto nível hipotético de análise. A inferência consiste na alegação de que a existência de um traço atual não é fortuita, uma vez que resulta de uma narrativa seletiva direcionada pelo benefício que o traço apresenta (ou apresentou) ao organismo. Os autores direcionam uma série de críticas ao conceito etiológico de função. Algumas delas serão brevemente citadas abaixo.

Para Amundson e Lauder (1994), há incertezas acerca da natureza da pressão seletiva e do alvo da seleção, pois para determinar um efeito selecionado seria necessário admitir no mínimo dois pressupostos: (a) a população sofreu a atuação da seleção natural e (b) a seleção atuou especificamente de forma a

[21] Há de se considerar a diferença temporal de aproximadamente 30 anos entre a publicação de Wright (1973) e de Cummins (2002). Como consideram Carmo, Nunes-Neto e El-Hani (2016), o autor Larry Wright constroi a própria abordagem fundamentado em um darwinismo ortodoxo que predominou durante a década de 1970.

aumentar o efeito que é atualmente rotulado como função de um traço. Tais incertezas são agravadas devido às possibilidades de modificação de um traço e de alteração da função ao longo do tempo. Se as estruturas podem ter diferentes funções ao longo de linhagens, seria extremamente difícil definir qual foi o efeito selecionado primeiro, e ainda mais difícil seria definir a função da estrutura: seria o efeito do passado ou o efeito atual? Para os autores, a imprecisão das inferências inerentes ao conceito de função por efeito selecionado também é acentuada devido à impossibilidade de reconstrução do cenário seletivo, ou seja, a identificação da narrativa de um processo seletivo retrospectivamente é obstruída pelo reconhecimento de que ambientes e pressões de seleção podem se alterar significativamente ao longo do tempo. Ao considerar que os traços tanto podem ser favorecidos por apresentar efeito favorável ao organismo, quanto por exibir uma associação a outro efeito que realmente esteja a ser selecionado, o quadro se complica ainda mais. Assim, para Amundson e Lauder (*ibid.*), é necessário defender o papel causal como um conceito adequado de função para que áreas de estudo como anatomia e fisiologia possam tratar de estruturas de seres vivos sem fazer menção (hipotética) a histórias seletivas.

Chediak (2011) também direciona algumas críticas ao conceito etiológico ao questionar se os traços vestigiais que não possuem funções atualmente receberiam uma função atribuída ao primeiro efeito selecionado que o traço possuiu outrora. A autora acrescenta que não há uma garantia de que a seleção natural seja o mecanismo que fixou um traço.

A imprecisão inerente à perspectiva do conceito etiológico de função pode ser explorada pelo panorama das críticas ao adaptacionismo. Segundo Sepúlveda, Meyer e El-Hani (2011), desde a década de 1970 o adaptacionsmo é criticado devido às limitações explicativas da seleção natural que foram expostas por novos quadros teóricos da biologia evolutiva. Na crítica ao programa adaptacionista, segundo os autores, o poder causal e explicativo da seleção natural é questionado, bem como a preeminência concedida à adaptação (concebida como um produto de seleção natural) em detrimento de outros fenômenos biológicos que podem estar relacionados com a origem e evolução da biodiversidade. Assim, a crítica do adaptacionismo ao efeito selecionado integra várias questões, como a existência de

outros mecanismos evolutivos diferentes da seleção natural, que podem explicar o surgimento e a distribuição de características dos seres vivos, e que, portanto devem ser consideradas antes da admissão de processos seletivos como explicação única para o entendimento do processo evolutivo.

Ainda que a seleção natural explicasse sozinha a diversidade do mundo vivo, inconsistências explicativas ainda estariam presentes no conceito etiológico, visto que inferências retroativas são feitas fundamentadas em incertezas. Porém, ao considerarmos que não só a seleção natural explica as características dos seres vivos, mais inconsistência é atribuída à perspectiva do conceito etiológico, pois outras narrativas evolutivas diferentes de seleção natural deveriam ser consideradas nas inferências.

A arguição de Nunes-Neto e El-Hani (2009) acerca da dualidade das concepções etiológica e analítica (sistêmica/processual) converge para a ideia de que as críticas à concepção etiológica alusivas ao selecionismo estrito evidenciam a necessidade de ampliar a concepção etiológica, de modo a incluir outros mecanismos evolutivos que possam tornar as explicações etiológicas mais plurais.

Contrapondo tal conclusão de Nunes-Neto e El-Hani, Gustavo Caponi (2012) se dedicou à discussão relativa à dualidade de abordagens referentes às funções na obra “Função e desenho na biologia contemporânea”, na qual defendeu que as explicações funcionais não devem ter caráter evolutivo.

Caponi (2012) desconsidera a necessidade do uso da abordagem etiológica de função, embora não marginalize em nenhum momento o papel da seleção natural na consolidação de adaptações. Para a determinação de funções de partes de um organismo, o autor enfatiza que somente devem-se formular explicações situadas no intervalo de um ciclo de vida de um organismo. Ou seja, as funções não requerem explicações históricas. Assim, se a concepção sistêmica ou processual de função não é suficiente para esclarecer noções de adaptação e desenho biológico, é porque a natureza das explicações funcionais não contempla a finalidade explicativa de tais questões. O autor introduz uma distinção entre “caráter” e “configuração”/“parte”. Para Caponi (2012), um caráter “é sempre uma diferença ou uma semelhança entre linhagens” (p. 71) enquanto parte ou configuração designa a “conformação de um

organismo particular" (p. 17); assim, "uma adaptação não é uma estrutura que cumpre uma função, é o estado derivado de um caráter, uma apomorfia resultante da seleção natural" (*ibid*., p. 75).

As adaptações da biologia evolutiva são referentes a estados de caracteres que podem ser explicados por seleção natural, assim, não se referem às partes ou configurações de um corpo. Enquanto de forma adversa, as concepções sistêmicas ou processuais (analíticas) de função somente estudam o efeito tido como função, por exemplo: a função do coração é bombear sangue porque "produz efeitos relevantes para o sistema no qual está contido" (Caponi, 2012, p. 21).

> Se um fisiologista moderno descobre que a excreção de uma substância fedorenta permite que um animal qualquer elimine substâncias tóxicas presentes na sua dieta, ele não esperará por uma justificação evolutiva para dizer que essa excreção tem a função de desintoxicar o corpo desse animal. [...] Por outro lado, um ecólogo poderia descobrir que essa excreção também serve para espantar predadores. Assim, ele diria ter descoberto uma segunda função. (CAPONI, 2012, p. 31-32).
>
> Se a excreção de substâncias presentes na dieta do animal o mantém desintoxicado, disso não podemos inferir se esse efeito benéfico foi o que a seleção premiou na configuração anatomofisiológica que permitiu essa operação, ou se o premiado foi o possível efeito que a excreção dessas substâncias produzidas produzia nos predadores desse animal (CAPONI, 2012, p. 56).

Assim, por tratar-se de questões totalmente distintas (a função sendo referente às causas próximas e a etiologia às causas últimas[22]), a concepção sistêmica de função não precisa atender às preocupações da concepção etiológica porque não cabe à sua própria natureza explanatória.

> A exigência de que as análises funcionais devam ter um conteúdo explicativo, de corte etiológico, que nos permita descriminar entre benefícios acidentais e verdadeiras funções é improcedente porque, na realidade, essa é uma atribuição das explicações selecionistas. [...] O conceito de "função" jamais deve ser confundido com o de "razão de ser" [...] a atribuição funcional não supõe nenhuma hipótese sobre a origem ou a construção do sistema ou processo em estudo, nem supõe alguma hipótese sobre a origem ou a construção do suposto item funcional (CAPONI, 2012, p. 37-39).

[22] A etiologia é aqui referida como o estudo dos fatores que causam ou originam a função. A função é localizada em um momento presente (causa próxima). A etiologia é localizada em um tempo evolutivo do passado (causa evolutiva ou causa última), visto que só pode ser explicada com base em alterações que ocorrem ao longo das linhagens.

O autor defende que as explicações funcionais podem abranger não só a fisiologia e o desenvolvimento de um ser vivo, mas também a partes que não compõem o indivíduo, como um ninho de uma ave ou os insetos polinizadores de uma flor, pois, apesar de não constituírem fisicamente o indivíduo, podem contribuir para garantir o ciclo vital do ser vivo.

Pode-se dizer que a dualidade da concepção etiológica de função e da concepção sistêmica ou processual fornece um substrato para discussões importantes referentes às proposições causais em biologia, pois requerem a constante fundamentação na distinção entre causas próximas e últimas e a caracterização da natureza do conhecimento biológico. A adoção da interpretação funcional somente no campo das causas próximas permite a utilização de uma linguagem e uma heurística própria das áreas de fisiologia, ontogenia e autoecologia, além de delinear e esclarecer algumas noções confusas de função e adaptação, que residem respectivamente nas causas próximas e nas causas remotas.

A utilização de formulações teleológicas nas questões biológicas de causas próximas recebe alguma aceitação nas discussões contemporâneas, como passaremos a discutir a seguir, o que coloca a distinção de concepção etiológica e sistêmica de função como uma heurística que pode contribuir para a tomada da consciência dos usos adequados ou inadequados da teleologia na linguagem biológica.

3.2.1 A teleologia inerente ao conceito de função biológica

Segundo o *Dicionário Aurélio* (DE HOLANDA FERREIRA; FERREIRA; DOS ANJOS, 2010), teleologia significa o estudo da finalidade.

Segundo o *Dicionário Básico de Filosofia*, teleologia corresponde à:

> [...] ciência que estuda os fins, a finalidade das coisas, constituindo, assim seu sentido, em oposição à consideração de suas causas ou de sua origem. Concepção segundo a qual certos fenômenos ou certos tipos de comportamento não podem ser entendidos por apelo simplesmente a causas anteriores, mas são determinados pelos fins ou propósitos a que se destinam (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2008, p. 264).

O termo de adjetivação “teleológico”, segundo o *Dicionário Básico de Filosofia*, corresponde ao “que se caracteriza por sua relação com a finalidade, que deriva seu sentido dos fins que o definem” (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2008, p. 264).

Para Ernst Mayr, teleologia “é o estudo das causas finais e a crença na existência de forças direcionadoras” (MAYR, 2009, p. 332). Assim, “a teleologia lida com a explicação de processos naturais que parecem conduzir automaticamente a um fim definido ou a uma meta” (MAYR, 2008, p. 38-39). Aristóteles utilizou a palavra *télos* com o sentido de um processo com uma meta antevista, ou seja, a meta existe antes de o processo ter início, porém *télos* também pode se referir a uma terminação de um processo que possua final (MAYR, 2005).

Carmo, Nunes-Neto e El-Hani (2012) explicam que a definição de explicação teleológica pode variar em diferentes áreas de estudo. Nas ciências biológicas, segundo os autores, a explicação teleológica consiste em fazer referência a propósitos, funções e objetivos. Assim, trata-se do conceito de finalidade, que sempre esteve presente na linguagem utilizada no contexto das ciências biológicas. Para Nunes-Neto e El-Hani (2006), em todos os sistemas vivos há processos dirigidos a objetivos (como atividades de reprodução, corte, migração e outras). Contudo, para Nunes-Neto e El-Hani (2006), as explicações teleológicas não necessariamente se referem a fins conscientes, mas recorrem normalmente a objetivo e função, ou seja, são explicações funcionais, que diferem de explicações intencionais. Assim, é trivial em debates alusivos à teleologia a distinção entre fenômenos teleológicos intencionais e não-intencionais, pois, como consideram os autores, nos sistemas biológicos há mecanismos que iniciam e que precedem (no tempo) um processo dirigido para um objetivo[23].

> Há fenômenos que podem ser descritos como teleológicos, mas que não são fenômenos intencionais. Em decorrência, as explicações desses fenômenos podem ser teleológicas sem que, para isso, devam ser intencionais. Apesar de todo o receio às explicações teleológicas, temos exemplos na Biologia de explicações teleológicas que não recorrem a fins conscientes, mas sim aos conceitos de

[23] Em Carmo, Nunes-Neto e El-Hani (2016) os autores se opõem veementemente à retirada de teleologia da biologia.

> “objetivo” e “função”, o que as caracteriza como teleológicas (CARMO; NUNES-NETO; EL-HANI, 2016).

Para Georg Toepfer (2012), a perspectiva teleológica é uma forma de definir e analisar processos causais ao olhar para o estado final[24] desses processos. O autor pontua que a teleologia é uma propriedade da funcionalidade biológica, que ela exerce um papel heurístico referente às explicações ontológicas dos sistemas biológicos, e, por estar intimamente conectada ao conceito de organismo, a teleologia contribui com a definição da biologia como ciência.

O autor explica que um organismo pode ser entendido como um sistema causal de partes interdependentes que é capaz de realizar determinadas atividades complexas, sendo a interdependência das partes/processos e o desempenho de atividades complexas as duas características mais fundamentais do organismo. Nesse sentido, a teleologia consiste na identificação de efeitos relevantes de partes interdependentes de um sistema (TOEPFER, 2012).

Toepfer (2012) aponta que uma função é um efeito relevante, resultado de um processo que tem impacto sobre o desempenho futuro do mesmo processo ou subprocessos de mesmo gênero em sistemas com partes interdependentes. Sendo assim, para o autor, a compreensão do organismo requer um raciocínio teleológico por identificá-lo como um tipo especial de sistema natural que inclui a atribuição de funções ou propósitos para suas partes.

Funções, portanto, não ocorrem isoladamente, mas integradas a um sistema em conjunto com outras funções. Para ele, em um sistema organizado conceituado como uma unidade, cada função representa uma capacidade do sistema coordenada com outras capacidades, que juntas formam o todo, ou o sistema. Atividades que não se encaixam nesta rede de processos interdependentes, para o autor, não contam como funções (TOEPFER, 2012).

Assim, ao defender a importância da teleologia nas ciências da vida, o autor explica que devido ao conceito de organismo ser um dos conceitos básicos da biologia, a teleologia inerente configura um papel heurístico importante dessa

[24] O “estado final” é tratado pelo autor para se referir a um resultado de um processo fisiológico, por exemplo.

ciência. O autor chega a fazer alusão à famosa proposição de Theodosius Dobzhansky (“Nada faz sentido em biologia exceto à luz da evolução”) e propõe que “Nada em biologia faz sentido exceto à luz da teleologia” (TOEPFER, 2012, p. 115).

A importância heurística do pensamento teleológico na biologia de organismos é exemplificada por Toepfer (2012): (1) a semelhança dos efeitos pode ser utilizada para a elaboração de critérios de equivalência de processos funcionais e (2) o estudo dos efeitos permite o entendimento de outros processos que, por serem interdependentes em um sistema, dependem diretamente do resultado de outros processos para o próprio desencadeamento ou desempenho.

As rotas de retroalimentação negativa como, por exemplo, a do controle do pH do duodeno, ilustram a importância da identificação dos efeitos interdependentes em sistemas vivos. O conteúdo estomacal possui pH ácido, inadequado para a atuação enzimática do duodeno. A acidez introduzida na primeira porção intestinal estimula as células intestinais, que passam a secretar o hormônio secretina no espaço intercelular. A secretina, por vias sanguíneas, alcança o pâncreas que responde, liberando bicarbonato nos ductos que ligam o pâncreas ao duodeno. O bicarbonato reduz a acidez do duodeno, reduzindo o estímulo (acidez) de forma a reduzir a produção de secretina (REECE *et al*., 2015). Processos de retroalimentação ilustram a interdependência de partes do organismo e a importância do estudo dos efeitos de cada uma das partes para o entendimento de outros processos que podem ser desencadeados por efeitos anteriores.

O quadro teórico do trabalho de Toepfer (2012) pode ser entendido como uma forma analítica de concepção de função, pois o autor defende que a teleologia não deve ser uma estratégia explicativa para atribuir razões para a presença ou ocorrência de uma parte em um sistema (um tipo de explicação que se configuraria como concepção etiológica de função). Deve ser compreendido como uma ferramenta descritiva para analisar sistemas em termos de seus componentes funcionais, de forma a permitir uma conceituação adequada deles. Para ele, a atribuição de funções depende da identificação de organismos como estruturas causais, não como meros produtos de seleção.

Além de tratar da teleologia de organismos, Toepfer (2012) também discute a teleologia de ecossistemas. Para ele, ecossistemas podem ser vistos como sistemas funcionais, que são constituídos por componentes interdependentes com funções causais específicas, como ocorre, por exemplo, na atribuição de funções a papeis ecológicos (como produtor, consumidor e decompositor). O autor explica que embora seja possível a atribuição de funções aos componentes de um ecossistema, não é necessário assumir uma função primordial para todo o sistema.

Para os autores Nunes-Neto, Carmo e El-Hani (2013), a ecologia e a fisiologia compartilham a característica de dar manutenção a alguns estados preferenciais do sistema (ainda que sejam improváveis), o que pode ser traduzido por atribuições de funções (tanto na ecologia como na fisiologia) e tomam uma posição semelhante à de Toepfer (2012):

> Ao tomarmos, porém, o termo “função” para fazermos referência a uma capacidade das partes dos ecossistemas, poderíamos falar sobre as funções nos ecossistemas, o que transmitiria a ideia de que as funções estão dentro do ecossistema, como uma capacidade de suas partes, não como uma capacidade do ecossistema como um todo. Isso talvez resolva o problema, desde que o nível a partir do qual estamos falando sobre função esteja fixado (NUNES-NETO; CARMO; EL-HANI, 2013, p. 61)

Esse posicionamento também é expresso por Caponi (2012), que defende que as análises funcionais são viáveis na ecologia, porque os elementos são analisados segundo a contribuição causal, ou função, na recorrência de processos e estados de coisas que requerem explicação. Para o autor, os conceitos de produtor, consumidor e decompositor são de natureza funcional e fazem alusão direta ao papel causal dos organismos no ecossistema ao qual pertencem.

Matteo Mossio e Leonardo Bich (2014) também realizaram uma discussão relativa à teleologia da biologia e propuseram que a organização biológica pode ser concebida de forma legítima como um regime teleológico intrinsecamente causal, uma vez que possui “autodeterminação”, ou seja, os efeitos das atividades de uma organização biológica contribuem para determinar as próprias condições de sua existência.

Mossio e Bich (2014) explicam que a autodeterminação intraorgânica implica uma relação circular causa-efeito, visto que a organização produz efeitos que

repercutem em contribuições que mantém a organização, por exemplo: o efeito de ondas rítmicas do coração permite a circulação do sangue, que confere manutenção à organização. Os autores afirmam que as condições de existência sobre as quais a organização exerce influência causal podem ser interpretadas como a meta (*telos*, ou causa final) da organização biológica: devido à dependência entre sua própria existência e os efeitos da sua atividade, a organização biológica é legitimamente teleológica.

Referente à teleologia, Mossio e Bich (2014) categorizam três tipos de sistemas:

A) sistemas físicos que não são dotados de qualquer dimensão teleológica;

B) artefatos que são teleológicos de forma extrínseca, uma vez que as metas são determinadas por um agente externo; e

C) organismos, que são dotados de teleologia intrínseca.

Mossio e Bich (2014) apontam como característica dos seres vivos a homeostase que é mediada por ciclos de retroalimentação que são capazes de produzir, manter e estabilizar a organização a qual pertencem.

A autodeterminação dos organismos fora também interpretada por Jacques Monod (2006) e Ernst Mayr (2005; 2008), mas em termos genéticos. O conceito de “teleonomia”, amplamente utilizado por ambos, refere-se segundo Monod (2006) a um projeto interno inerente em seres vivos que é representado pelas estruturas do organismo e realizado por suas *performances*. Para Mayr (2008), os “sistemas teleonômicos” são resultantes de processos de adaptação que atuaram sobre várias gerações e são programados para realizar atividades teleonômicas (dirigidas a um objetivo), o que inclui o desenvolvimento, a fisiologia e o comportamento de um organismo.

Porém, para Mayr (2005), a função biológica não deve ser entendida em termos teleológicos, uma vez que pode ser decomposta em dois fatores: o funcionamento fisiológico (que reside em causações imediadas explicadas por fatores físico-químicos) e o papel biológico que deriva de causações evolutivas.

Se a função biológica é simultaneamente entendida em causas próximas e últimas (em um modelo semelhante à concepção etiológica de função), certamente Mayr não concordaria com a abordagem teleológica acerca da função biológica, uma vez que ao aludir a fenômenos evolutivos para dar sentido à concepção, a função passa necessariamente a ter que ser desprovida de teleologia[25]. Talvez se fosse adepto da concepção analítica de função, Mayr admitiria a interpretação teleológica do conceito de função (visto que admite a teleologia intraorgânica nas causas próximas, como trataremos adiante).

Em um de seus últimos livros, Mayr (2005) dedicou um capítulo para explicar a ideia de que a teleologia vem sendo empregada de cinco maneiras diferentes para tratar de fenômenos naturais. Para ele, a confusão formada em torno do conceito de teleologia reside na falta de distinção entre causalidade imediata (próxima) e causalidade evolutiva (última) e entre sistemas estáticos e atividades orientadas para um fim. Nas categorias criadas por ele há uma subdivisão entre (1) categorias que podem ser explicadas por fenômenos naturais (que correspondem às categorias A, B, C e D) e (2) categoria da teleologia cósmica, que para o autor não existe e deve ser rejeitada.

As categorias propostas por Mayr (2005) são: (a) processos teleomáticos, (b) processos teleonômicos, (c) comportamentos com propósitos, (d) características adaptadas e (e) teleologia cósmica (*ibid.*, p. 66). Tais categorias serão descritas abaixo.

A) *Processos teleomáticos*: são aqueles cujas direções a um fim são determinadas de forma extrínseca por leis naturais (processos físicos e químicos). Segundo Mayr, são processos automaticamente realizados. Neles não há propósitos e a pergunta “para quê?” é inapropriada, uma vez que não há uma finalidade envolvida, por exemplo, em um raio que

[25] Em outras palavras, poder-se-ia afirmar que Mayr seria um adepto da concepção etiológica de função, visto que somente concebe função por meio de uma associação entre (a) uma explicação de um funcionamento de um ser vivo e (b) uma explicação evolutiva que justifique a gênese de tal funcionamento. Assim sendo, diferente da arguição realizada anteriormente, que defende a validade de formulações teleológicas para causas próximas, Mayr defende que a função não pode ser entendida como teleológica justamente por conter explicações evolutivas associadas. Vale ressaltar que na concepção analítica de função a dimensão evolutiva é refutada, o que permite a validação da formulação teleológica na abordagem funcional.

atinge uma árvore, ou em ocorrências de enchentes ou terremotos. Tais processos, embora possuam um termo final, são desprovidos de uma meta.

B) *Processos teleonômicos*: é um termo aplicado às atividades de seres vivos. Diferente dos processos teleomáticos, os processos teleonômicos possuem metas intrínsecas orientadas por programas[26]. Para Mayr (2005),

> Um processo ou comportamento telelonômico é aquele que deve sua orientação por uma meta à influência de um programa evoluído [...] e depende da existência de algum termo final, meta ou término que está previsto no programa que regula o comportamento ou processo (MAYR, 2005, p. 69-70).

C) *Comportamentos com propósitos*: a terceira categoria de Mayr representa a intenção e consciência de alguns organismos do Reino Animal e são, para o autor, legitimamente teleológicas, uma vez que são notavelmente propositais e em alguns animais há, inclusive, planejamento cuidadoso.

D) *Características adaptativas*: características que contribuem para a adaptação de um organismo resultantes de evolução variacional, e da geração e sobrevivência de indivíduos que restam após a exclusão de indivíduos menos aptos. O autor defende que por serem resultados *a posteriori*, que não buscam *a priori* uma meta, as adaptações não são teleológicas. Mayr pontua que as características adaptativas desempenham atividades teleonômicas[27], portanto, poderiam ser consideradas como programas somáticos.

---

[26] Para ratificar que a referência à teleonomia que é descrita pelo autor não se aplica a seres inanimados, Mayr (2005) afirma que os programas envolvidos em processos teleonômicos são programas genéticos, especificamente.

[27] A categorização de Mayr (2005) no que se refere à teleologia pode causar alguns desentendimentos que tentaremos esclarecer. Na quinta categoria, Mayr faz o delineamento do que seria a "teleologia cósmica". Provavelmente, por uma falta de uniformização terminológica, o autor caracteriza arbitrariamente itens em seu texto e mistura a teleologia com a "teleologia cósmica". No próprio conceito de teleonomia há uma concepção teleológica que é validada, segundo o autor, pela condução à finalidades por meio de programas genéticos. Para ratificar tal posicionamento em relação ao trabalho de Mayr, concluímos esta nota explicativa com a definição de teleonomia do *Dicionário Básico de Filosofia*: teleonomia é a "concepção segundo a qual a finalidade ou propósito de algo pode ser explicado através de leis naturais, sem nenhuma referência a elementos metafísicos ou religiosos" (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2008, p. 264).

E) *Teleologia cósmica*: consiste na crença de que há uma tendência para um progresso ou perfeição contínua e crescente. Mayr (2005) se opõe com veemência à teleologia cósmica e pontua que a seleção natural explica a evolução, o que torna desnecessária a invocação de forças teleológicas adicionais.

> O pressuposto de um mundo ordenado de maneira que tudo se encontre disposto de modo a assegurar uma tendência ao melhor estado possível [...] coloca dificuldades para a construção da noção de luta pela sobrevivência, central na constituição do próprio pensamento de Darwin, e para a perspectiva histórica a partir da qual a resposta darwinista ao problema da correlação funcional entre estrutura orgânica e condições de vida é formulada (SEPÚLVEDA, MORTIMER, EL-HANI, 2013, p. 464).

Pode-se dizer que as quatro primeiras categorias de Mayr (2005) são fenômenos materiais desprovidos de direcionamento sobrenatural – citados pelo autor como os quatro tipos de teleologia aceitos pela ciência (*ibid*., p. 80)[28]. As atividades orgânicas orientadas a metas (teleonômicas) não envolvem direcionamento sobrenatural, uma vez que a meta está codificada no programa interno.

É possível perceber incompatibilidade das cinco categorias de Mayr com a literatura aqui apresentada anteriormente, principalmente porque Mayr restringe a teleologia da autodeterminação biológica do indivíduo aos aspectos genéticos – assim como fez Monod (2006).

Mayr (2005) não esclarece em qual categoria estariam inclusos os artefatos propositalmente desenhados (talvez estivessem incorporados aos “comportamentos com propósitos”, mas não houve apontamento do autor nesse sentido), além disso, Mayr subdivide as características vivas em três interpretações: “processos teleonômicos”, “comportamentos com propósitos” e “características adaptativas”. A intersecção das três categorias vivas é significativa, o que prospecta alguns questionamentos, tais como: os comportamentos com propósitos poderiam

[28] Mayr (2005), ao tratar dos “quatro tipos de teleologia aceitos pela ciência”, inclui a categoria “características adaptativas”. Dessa forma o autor entra em contradição, pois defende que as características adaptativas são isentas de teleologia. Os autores Sepúlveda, Nunes-Neto e El-Hani (2011) e Caponi (2001) discutem essa questão e descrevem quais tipos de pensamentos teleológicos seriam apropriados às narrativas selecionistas. Tal discussão será retomada em tópicos posteriores desse trabalho.

simultaneamente ser categorizados como processos teleonômicos? Alguns processos teleonômicos e comportamentos com propósitos não poderiam (ao menos alguns deles) ser categorizados como características adaptativas? Há realmente validade em discriminar as três categorias como essencialmente diferentes?

Consideramos que a discussão sobre a distinção dos empregos de teleologia não precisa estar balizado na distinção entre “comportamentos propositais”, “processos teleonômicos” e “características adaptativas”, tendo em vista a sobreposição (ou intersecção) conceitual que pode haver entre tais categorias (Figura 1).

Figura 1. Representação da relação entre conceitos mobilizados por Mayr (2005), que apresentam intersecções (segundo a discussão realizada nesse trabalho).

Fonte: elaborada pela autora.

Pois bem, um importante problema das categorias de teleologia de Mayr é a restrição conferida à discussão do processo evolutivo ao aspecto único da seleção natural. A adaptação é citada pelo autor como um produto da seleção natural e a rejeição da teleologia aplicada à interpretação referente à evolução é explorada somente balizada na seleção natural (selecionismo estrito). Restrito ao quadro teórico da Síntese Moderna, o autor reduziu à seleção natural a discussão da atribuição de teleologia à evolução.

O autor Richard Dawkins, na obra *O Relojoeiro Cego*, assim como Ernst Mayr, emprega a seleção natural como contra-argumento para a teleologia cósmica:

> A seleção natural, o processo cego, inconsciente e automático que Darwin descobriu e que agora sabemos ser a explicação para a existência e para a forma aparentemente premeditada de todos os seres vivos, não tem nenhum propósito em mente. Ela não tem nem mente nem capacidade de imaginação. Não planeja com vistas ao futuro. Não tem visão nem antevisão. Se é que se pode dizer que ela desempenha o papel de relojoeiro da natureza, é o papel de um relojoeiro cego (DAWKINS, 2001, p. 23-24).

A seleção natural obviamente é um contra-argumento legítimo contra a teleologia, mas o envolvimento de outros aspectos evolutivos conferiria mais consistência explicativa, como a inclusão das implicações evolutivas originadas nos padrões de desenvolvimento que podem explicar a origem e a persistência de várias características dos seres vivos (um fator evolutivo também desprovido de uma meta ou propósito).

Outro problema das categorias de Mayr (2005) está na conceituação de programa e de processos teleonômicos. Mayr (*ibid*.) pontua que programas são resultantes da seleção natural que são ajustados mediante o valor seletivo do termo final atingido, e, “a palavra-chave da definição de teleonômico é programa genético” (p. 70).

Para Mossio e Bich (2014), a teleologia é naturalizada por Mayr por meio do conceito de teleonomia na interpretação genética da autodeterminação. Para os autores, o ponto fraco de tal abordagem genética está na negligência da organização do indivíduo como um todo, visto que o genoma é entendido como o único responsável pela autodeterminação do organismo. Na posição dos autores, a teleologia não deve ser naturalizada apenas apoiada na influência do genoma, mas na caracterização da organização biológica interna do indivíduo.

Mossio e Bich (2014) elaboraram uma classificação alternativa (supracitada) que distingue sistemas físicos, artefatos e organismos. Sistemas físicos naturais (matéria inanimada) são caracterizados como desprovidos de teleologia, enquanto artefatos possuem teleologia extrínseca e organismos apresentam teleologia intrínseca. Para sistematizar nosso posicionamento em relação à discussão acima sintetizamos os conceitos no quadro abaixo:

Quadro 2 - Classificação de formas adequadas e inadequadas de emprego do pensamento teleológico na interpretação de elementos naturais e artificiais

Interpretação teleológica plausível	**Interpretação teleológica equivocada**
Causa próxima (sincrônica e individual)[29]	Causa última (diacrônica e populacional)
Causa próxima (sincrônica e populacional)[30]	Causa última (diacrônica e individual)
Procedimentos propositais	Matéria inanimada
Objetos artificiais em geral e artefatos[31]	Teleologia cósmica

Fonte: elaborado pela autora

Com o intuito de esclarecer as ideias contidas no Quadro 2, passaremos para à exploração dos tópicos que o compõem. Nas interpretações teleológicas plausíveis são adicionados dois tipos de causas próximas, a sincrônica e individual que é relativa aos fatores morfofuncionais dos organismos (segundo a proposta de Calcott, 2003) e a sincrônica e populacional que se refere à ecologia das populações (segundo a nossa proposta descrita no tópico 3.1.1). Tais interpretações são consideradas passíveis de análise teleológica, como defendido por Toepfer (2012) e Caponi (2012), por se tratar de sistemas interdependentes que repercutem efeitos relevantes ao próprio sistema (TOEPFER, 2012).

Também considerados passíveis de interpretação teleológica são os procedimentos propositais[32] que podem ser desempenhados por animais pensantes. É o caso da atuação do ser humano sobre si mesmo e sobre o mundo. Há metas pré-determinadas que orientam ações direcionadas a um fim.

Da mesma forma há plausibilidade na interpretação teleológica relativa aos objetos artificiais, que podem ser criados para um fim pré-determinado por organismos pensamentes capazes de comportamento proposital (no caso da criação de artefatos) assim sendo genuinamente teleológicos, ou podem ser criados por organismos que tem “metas” determinadas por comportamentos instintivos que são

[29] As categorias “sincrônica e individual”, “diacrônica e populacional” e “diacrônica e individual” são empregadas segundo a proposta de Calcott (2013).

[30] A categoria “sincrônica e populacional” é descrita segundo a proposta desse trabalho especificada no item 4.1.1.

[31] Artefatos são qui concebidos como produtos de procedimentos propositais humanos, ou seja, trata-se de *um dos tipos de objeto artificial*. Os objetos artificiais em geral não são necessariamente criados por incumbência intencional, visto que podem ser oriundos de animais não pensantes.

[32] Há de se considerar que a categoria “procedimentos propositais” tem intersecção com “causas próximas”.

materializadas na construção de objetos artificiais (como ocorre na construção de colmeias por abelhas, na construção de ninhos por aves, ou na construção de represas por castores). Tais objetos têm, para Mossio e Bich (2014), teleologia extrínseca, pois provém de um organismo e incide sobre o objeto.

No tópico de interpretações evolutivas equivocadas do Quadro 2, incluímos dois tipos de causas últimas (segundo a proposta de Calcott, 2013): a diacrônica-populacional que é relativa à descrição das populações ao longo do tempo (seleção natural, deriva genética e migrações) e a diacrônica-individual que equivale às descrições de mudança da forma orgânica ao longo do tempo evolutivo (evo-devo). Trata-se de uso equivocado de teleologia, pois não há um fim pré-estabelecido, visto que o processo evolutivo é dinâmico, “cegamente” guiado e não alcança um estágio final de otimização ou progresso (DAWKINS, 2001).

Também é considerada como equivocada a interpretação teleológica dada à matéria inanimada (salvo os casos de objetos artificiais), visto que é desprovida de programas internos dirigidos a metas; do mesmo modo a teleologia cósmica (segundo a proposta de Mayr, 2005) não deve ser aceita por incluir a crença em uma tendência geral do mundo ao progresso ou perfeição.

Optamos por incluir essa discussão para salientar que, segundo discussões contemporâneas, há defesa do uso da teleologia nas explicações ontogenéticas, comportamentais e ecológicas, mas não nas causas evolutivas. Foi realizada a exposição de alguns argumentos empregados para a defesa da adequação da teleologia nas causas próximas fisiológicas, comportamentais e ecológicas que, em síntese, residem no cumprimento de metas em um sistema complexo dotado de partes interdependentes que dão manutenção ao próprio sistema. Para Toepfer (2012), a teleologia é legitimada na biologia devido à constituição de sistemas vivos ser de partes integradas capazes de realizar atividades complexas interdependentes com efeitos relevantes ao sistema. Enquanto para Mossio e Bich (2014), a teleologia é legitimada na biologia pela autodeterminação dos sistemas vivos, o que os autores conceituam como a contribuição que os efeitos das atividades de uma organização biológica têm sobre as próprias condições de existência. Trata-se, portanto, da arguição relativa à adequação do emprego da teleologia às causas próximas da biologia, ou seja, da defesa de uma teleologia intrínseca dos sistemas vivos. O que

difere dos objetos artificias, que exibem uma teleologia extrínseca (devido a um agente externo que os projetou) e difere para os elementos inanimados que são desprovidos de qualquer teleologia.

A justificativa para a inclusão do referencial teórico acima é a necessidade do aporte teórico para a discussão da adequação do emprego do pensamento teleológico na biologia, um tema que foi explicitamente tratado no GPEB.

3.2.2 Neoteleologia e o conceito de função

Robert Cummins (2002) considera que explicar algo de forma teleológica é explicar algo recorrendo à sua finalidade, objetivo ou função, ou seja, a existência ou presença de um traço biológico entendido de forma teleológica tem uma explicação que apela à sua função (explicação etiológica de função). Nunes-Neto e El-Hani (2009) criticam a conceituação de teleologia de Cummins, pois há uma redução do sentido amplo de teleologia (conceituado pelos autores como um evento “dirigido a um fim”) à abordagem etiológica selecionista das funções. Ou seja, para os autores, um erro de Cummins está em tornar equivalentes a teleologia e a abordagem etiológica de função (ou seja, reduz a teleologia à abordagem etiológica de função).

Cummins (2002) chama de teleológica a ideia de atribuir à função de um elemento a justificativa que explica a existência de tal elemento. Cummins indica que o problema nesse modelo explicativo é que se ter a função explica por que um elemento existe, deve haver um mecanismo ou uma história que produz tais elementos devido às suas funções. Mas qual processo seria esse, se a origem da variabilidade é desprovida de antevisão? Como poderia esse processo existir, se antes de uma estrutura ser formada ela é desprovida de função?

Cummins (2002) se opõe ao emprego da explicação etiológica de função (o que o autor chama de “teleologia”) e defende a utilização da análise funcional, que consiste em explicar as capacidades do sistema que contém o objeto de atribuição funcional, ou seja, o que deve ser explicado não é a origem ou a existência de um elemento, mas a capacidade que ele exibe em um sistema complexo (o que corresponderia a concepção analítica de função).

Para Nunes-Neto e El-Hani (2009) e Carmo, Nunes-Neto e El-Hani (2016), a própria análise funcional de Cummins é comprometida como um modelo teleológico

de explicação, pois as formulações de contribuição de uma parte do sistema para as capacidades do sistema como um todo constituem uma teleologia intraorgânica, uma ideia já discutida no tópico 3.2.1.

Cummins (2002) propõe o termo “neoteleologia” para denominar explicações que concebem um traço como resultado da ação da seleção natural. O traço exibia um efeito entendido como uma função e, devido a tal função, foi selecionado. A neoteleologia é, para Cummins, uma variação da teleologia que passou a ser aceita como legítima por estar fundamentada no darwinismo. Porém, o autor argumenta que os traços biológicos não existem nos organismos devido às suas funções, mas por suas histórias do desenvolvimento.

Para Cummins (2002), há duas variações de neoteleologia: a variação forte e a variação fraca. A variação forte concebe todos os traços biológicos que exibem função como elementos selecionados devido à execução da função que desempenha. A variação fraca concebe alguns traços como selecionados devido às suas funções. A neoteleologia forte, para o autor, deve ser rejeitada, pois estruturas tais como corações, olhos e asas exibem funções, mas não necessariamente foram selecionadas devido (aos efeitos que contam como) as suas funções. A neoteleologia fraca pode ser aceita, segundo Cummins, visto que em alguns casos o alvo da seleção pode coincidir com a função de um determinado traço.

O principal argumento de Cummins (2002), ao definir algumas propriedades da seleção natural, consiste em defender que a existência de um traço não pode ser explicada somente por seleção natural, sem outras investigações. Nunes-neto e El-Hani (2009) assentem que as abordagens etiológicas são muito dependentes de processos selecionistas e podem ser facilmente apontadas como selecionistas estritas. Assim, Nunes-Neto e El-Hani concordam que a versão forte da neoteleologia deve ser rejeitada.

Quanto à neoteleologia fraca, Nunes-Neto e El-Hani (2009) defendem que há um domínio de aplicação legitimado, devido à versão fraca validar a fixação de traços por seleção natural somente em alguns casos; embora não se deva, mesmo na versão fraca, explicar a origem de um traço com apelo à função, segundo os autores.

Nunes-Neto e El-Hani (2009) explicam que a seleção natural, embora não possa explicar como um traço surgiu, pode explicar porque traços funcionais se tornaram mais comuns em uma determinada população:

> É claro que não podemos apelar à função das asas para explicar sua origem. As asas são decorrentes de mudanças que ocorreram no desenvolvimento do ramo externo do apêndice birramado ancestral, não da seleção natural. Entretanto, podemos apelar à função de modo legítimo para explicar por que os insetos com asas aumentaram seu número, em determinadas linhagens de insetos, geração após geração (NUNES-NETO; EL-HANI, 2009, p. 384).

Devido à abordagem referente a um pluralismo de processos para explicar a evolução biológica defendida nesse trabalho, faz-se necessária a introdução do conceito de neoteleologia de Cummins (2002), que diz respeito ao conceito etiológico de função e ao selecionismo estrito de explanações biológicas. A temática foi alvo de discussão no GPEB, inclusive no que diz respeito à própria proposta de Robert Cummins, que foi lida pelos estudantes. O selecionismo estrito foi um aspecto observado nas formulações dos alunos e, portanto, a discussão relativa à neoteleologia se torna pertinente visto que era almejado o ensino voltado para o pluralismo explicativo.

3.3 Causas evolutivas em biologia

O autor Jacques Monod realizou uma discussão referente à natureza das ciências biológicas em uma obra intitulada originalmente *Le Hasard et la Nécessité* (1970), que traduzida para língua portuguesa recebeu o título de *O Acaso e a Necessidade* (2006). Para Monod, “acaso” refere-se às mutações que ocorrem nos organismos, assim tratadas devido à falta de relação entre a ocorrência de mutações e os efeitos que elas produzem no desempenho dos organismos. Sendo assim, pode-se dizer que a ocorrência de mutações seria desprovida de finalidade ou propósito.

A discussão do autor é iniciada com a caracterização de artefatos ou objetos artificiais (como uma faca, uma colmeia ou uma represa), que seriam todos produzidos por seres vivos. Tais seres vivos, ao contrário dos artefatos, são resultantes de interações intrínsecas (denominadas por Monod como “interações morfogenéticas”). O autor apresenta uma intersecção entre artefatos e seres vivos ao afirmar que ambos são “objetos dotados de um projeto” (MONOD, 2006, p. 28),

uma propriedade denominada pelo autor como teleonomia. Para ele, essa é a característica que torna os seres vivos distintos de outros elementos da Terra. O autor explica que os artefatos possuem projetos, mas que não pertencem ao próprio objeto artificial, uma vez que o projeto pertence ao animal que lhe deu origem: "o objeto materializa a intenção[33] pré-existente que lhe deu origem e sua forma se explica pela *performance* que dela se esperava antes mesmos que se realizasse (*ibid*, p. 23)". Assim, para o autor, a principal diferença entre artefatos e seres vivos é o caráter autônomo do último, uma vez que artefatos possuem uma organização determinada por agentes externos, enquanto os seres vivos são entendidos como "máquinas que constroem a si mesmas" (*ibid*, p. 29).

Monod (2006) trata principalmente da cibernética microscópica dos seres vivos em seu livro e discute a importância da homeostase propiciada pelas interconexões cibernéticas, mediadas por coordenação de células ou pelo sistema nervoso e endócrino, que tornam o organismo uma unidade funcional autônoma. O autor confere grande responsabilidade pela promoção da autodeterminação do organismo às proteínas especializadas capazes de detectar e integrar informações, desencadeando respostas de aumento ou inibição de atividades no organismo. A origem de tais proteínas atribuída ao acaso, ou a um jogo totalmente cego, seria convertida em ordem, regra e necessidade (devido à ação da seleção natural) ao longo de gerações que transmitem aos descendentes tais moléculas com as mesmas propriedades.

Monod (2006) admite que possam surgir alterações no material genético, por mutações, que são entendidas pelo autor como acidentais, uma vez que ocorrem ao acaso. Assim, o autor afirma que toda a fonte de novidade evolutiva da biosfera é constituída pelo acaso. A seleção atua, portanto, sobre os produtos do acaso.

[33] O emprego da palavra "intenção" não é assentido nesse trabalho para tratar de qualquer ser vivo, como as abelhas que constroem um objeto artificial, como uma colmeia. Assentimos apenas a ideia de que há um projeto extrínseco ao objeto artificial, que está contido em um ser vivo e incidirá sobre o objeto. A palavra "projeto", quando Monod (1971) se refere a "objetos dotados de um projeto" pode se referir à intencionalidade quando se trata de humanos (que produzem objetos artificiais do tipo "artefatos") ou a comportamentos instintivos previstos na coordenação genética de organismo não-pensantes.

Para Monod (2006), ao oferecer exigências rigorosas, a seleção natural elimina o acaso dos resultados ascendentes[34] e das conquistas sucessivas da evolução. Assim, as mutações serão temporárias, definitivas ou eliminadas segundo a *performance* teleonômica do organismo que a possui, que será julgada pela seleção natural. Em consonância, Mayr (2008) propõe que afirmar que a mutação é aleatória, não implica pressupor que uma mutação seja qualquer coisa, mas que ela não está relacionada com nenhuma necessidade atual do organismo e não é previsível. Para Mayr, a partir do darwinismo, a teleologia (cósmica) foi completamente rejeitada, uma vez que passou a se reconhecer a aleatoriedade do destino de populações e espécies.

Dawkins (2001) explica que grande confusão é erigida acerca da defesa de uma suposta aleatoriedade imbuída no processo seletivo, o que tende a impedir o entendimento do processo evolutivo, visto que embora mutações ocorram de forma aleatória, a seleção natural, segundo o autor, "é o exato oposto do acaso" (*ibid*., p. 71). Desprovida de objetivo distante, a evolução ocorre por critérios de seleção de curto prazo (sobrevivência e êxito reprodutivo)[35], que são acrescidos às posteriores ocorrências seletivas, um processo que, para o autor, se torna não aleatório e cumulativo.

O aparente progresso exibido por toda a evolução conflui frequentemente para uma interpretação determinista e teleológica do processo evolutivo. Porém, bactérias, que são organismos simples se comparadas a organismos de outros reinos, são seres vivos que alcançaram grande êxito na colonização de hábitat e hoje apresentam uma biomassa maior do que a de todos os organismos juntos (MAYR, 2009). Assim, a rejeição da visão de que a evolução é progressiva requer a análise dos casos de tais organismos, que ainda que em condições morfofisiológicas primitivas, estão em uma condição de altas densidades populacionais e constantemente conquistam novos ambientes.

[34] O emprego da expressão "resultados ascendentes" não é assentido nesse trabalho, visto que hoje há autores que explicam que a seleção natural não conduz a resultados progressivos (MEYER; EL-HANI, 2005; GOULD, 2001).

[35] Tais critérios de seleção de curto prazo seriam aqui concebidas como análises sincrônicas.

A rejeição da ideia de progresso no processo evolutivo é discutida por Stephen Jay Gould (2001), que se refere à visão difundida da centralização em torno da espécie humana como um possível resultado do progresso evolutivo. O autor explica que as imagens de diagramas que apresentam o homem no canto superior direito (o final do curso das linhagens) podem culminar em compreensões de que os organismos mais primitivos deixariam de existir para dar lugar aos mais recentes e que o resultado final seria o homem. A representação de diagramas é muito limitada e não exprime, por exemplo, que os artrópodes constituem uma diversidade muito maior do que a de primatas.

Gould (2001) defende que além da rejeição da ideia de progresso, também há de se renunciar a ideia de tendência ao aumento da complexidade dos seres vivos. O autor explica que muita da confusão erigida acerca da visão da tendência ao aumento de complexidade provém da impossibilidade de organismos simples (presentes na origem da vida na Terra) se tornarem ainda mais simples, porque a consequência seria o desarranjo completo desses organismos primitivos. A tendência inerente seria ao aumento de complexidade, mas vale ressaltar que tal univocidade em torno da tendência ao aumento da complexidade está restrita àquelas condições da origem da vida. Não há necessariamente uma tendência ao aumento de complexidade nos demais seres vivos porque a evolução pode originar tanto o aumento como a redução da complexidade dos seres vivos.

Outro argumento importante com relação à ausência de direcionamento progressivo ou teleológico no processo evolutivo é que a seleção natural nem sempre é um processo otimizador. Segundo Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2013), uma característica fixada em uma população devido ao valor adaptativo que possuía em um ambiente ancestral (o que configura uma adaptação) pode ser conservada por anos sem conferir qualquer benefício, ou ainda, causar problemas ao organismo. Os autores exemplificam casos nos quais adaptações podem ter efeitos negativos, como a preferência do paladar humano por alimentos ricos em carboidratos, o que pode ter sido consolidado em um ambiente ancestral escasso em alimento, mas hoje repercute em obesidade, principalmente entre crianças.

A defesa da abordagem não-teleológica do processo evolutivo terá prosseguimento nos próximos tópicos, assim como a discussão referente à pertinência do discurso teleológico no ensino e aprendizagem de biologia.

4 PERFIL CONCEITUAL E TELEOLOGIA NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE BIOLOGIA EVOLUTIVA

Nos encontros do GPEB pretendíamos observar e promover a evolução conceitual dos alunos quanto à compreensão de mecanismos evolutivos concernentes à Síntese Moderna e evo-devo, e, visávamos estimular a metacognição (GALLI; MEINARDI, 2009; MORTIMER, 2000) que permitisse a análise do próprio pensamento, para que os estudantes pudessem dissecar os conceitos evolutivos implícitos em suas próprias formulações. Assim, pretendíamos propiciar uma espécie de vigilância epistemológica (GALLI; MEINARDI, 2009; BOURDIEU; CHAMBOREDON; PASSERON, 1999) no contexto do ensino e aprendizagem e, com isso, promover a autonomia de cada participante do GPEB para avaliar formulações próprias e dos colegas, por meio do questionamento referente à adequação dos conceitos biológicos implícitos no pensamento que fundamenta as declarações verbais.

No que diz respeito à evolução conceitual dos alunos, adotamos a perspectiva da mudança de perfil conceitual (MORTIMER, 1996; 2000) – ao invés de mudança conceitual – pois não pretendíamos substituir concepções alternativas por concepções científicas consolidadas, mas auxiliar os estudantes no reconhecimento de contextos adequados para o emprego de variadas concepções. Por estarmos tratando de biologia evolutiva, a mudança conceitual não é necessariamente o objetivo a ser perseguido, como, por exemplo, no caso de se pretender substituir o pensamento religioso pelo pensamento científico acerca da origem dos seres vivos (BASTOS *et al*., 2004), ou substituir o pensamento transformacional pelo pensamento selecionista. Dadas as constantes releituras e ampliações do conhecimento evolutivo no contexto atual, a tentativa de eliminar concepções que destoam do pensamento selecionista parece infundada, pois o pensamento transformacional e a herança de caracteres adquiridos são atualmente resgatados por perspectivas evolutivas pluralistas.

Optamos por defender a pertinência da perspectiva selecionista no quadro teórico da Síntese Moderna (nesse primeiro momento em que os currículos ainda não incorporaram muito do conhecimento relativo à Síntese Estendida) e por defender a necessidade da inclusão da evo-devo ao entendimento do processo

evolutivo e da consideração relativa ao acaso, como por exemplo, por meio de narrativas referentes à deriva genética.

Quanto ao emprego da teleologia para as explicações funcionais não há, segundo as discussões contemporâneas, inadequação. Porém, para o processo evolutivo, a teleologia confere ambiguidade e equívocos ao pensamento declarado em explanações dos estudantes, o que requer intervenção, a qual estamos nos propondo a realizar nesse trabalho.

4.1 Mudança de perfil conceitual

Um modelo alternativo ao de mudança conceitual foi proposto e empregado em várias pesquisas por Eduardo Fleury Mortimer. Fundamentado na noção de perfil epistemológico de Gaston Bachelard, Mortimer (2000) engendra a noção de perfil conceitual, que passa a configurar um instrumento de análise da evolução conceitual em sala de aula.

A noção de perfil epistemológico proposta por Gaston Bachelard é balizada no pressuposto de que as pessoas podem exibir formas distintas de visões e representações acerca da realidade. Assim, Mortimer se apoia na obra *Filosofia do Não* de Bachelard (1979) para utilizar os termos de sistemas filosóficos do autor que auxiliaram o desenvolvimento de um modelo de ensino.

Enquanto o modelo da mudança conceitual corresponde a uma visão de ensino e aprendizagem na qual as concepções dos estudantes devem ser substituídas por conceitos científicos, para Mortimer (2000), a mudança do perfil conceitual “difere da mudança conceitual por sugerir a construção de novos conceitos sem pressupor o abandono das concepções prévias, mas a tomada de consciência do contexto em que elas são aplicáveis” (p. 11). Assim, na perspectiva da mudança de perfil conceitual, o objetivo do ensino passa a estar centrado na evolução de perfis conceituais por meio da construção de novas zonas de perfil e da tomada de consciência do domínio no qual cada zona do perfil seria aplicável.

A teoria de Mortimer referente à evolução conceitual permite o abandono da visão de que as concepções dos alunos têm que ser completamente substituídas por concepções científicas, pois, as concepções anteriores não precisam deixar de existir após a aprendizagem das novas zonas de perfil. Os estudantes passam a ter

consciência da adequação do emprego de cada perfil conceitual em diferentes tipos de situações.

> A aprendizagem de ciências em sala de aula pode ser descrita como uma mudança do perfil conceitual do estudante, cujo novo perfil inclui também, mas não exclusivamente, as novas ideias científicas. Essas ideias podem conviver em uma mesma pessoa, sendo usadas em contextos independentes e não relacionados (MORTIMER, 2000, p. 27)

As concepções alternativas e científicas, na proposta de Mortimer (2000), podem coexistir em uma mesma pessoa, ou seja, o aluno pode ter a liberdade de conviver com diferentes concepções, sendo que o ensino passa a explicitar as formas de emprego de cada concepção. A concepção alternativa não é, nessa perspectiva, um demérito (MORTIMER, 1996). Segundo Mortimer (2000), mais recentemente, o número de autores que procuram reformular a teoria de mudança conceitual tem aumentado. Muitos deles passam a defender a hipótese de que as pessoas podem conviver com ideias alternativas de determinado tema, que seriam ativadas por diferentes contextos.

O autor utiliza o termo “perfil conceitual” em lugar de “perfil epistemológico” (termo original de Bachelard) devido às diferenças em relação à visão filosófica da Bachelard, pois se trata, para Mortimer, de um modelo que descreve a evolução das ideias em consequência de um processo de ensino. Há pontos em comum com o perfil epistemológico bachelardiano, como a hierarquia entre as zonas epistemológicas (cada uma tem maior poder explanatório que as anteriores); enquanto outros pontos foram adicionados, como a distinção ontológica (e não só epistemológica) que pode ser constatada entre as zonas do perfil[36]. As zonas de perfis conceituais já foram utilizadas para fundamentar a análise da evolução conceitual de biologia em trabalhos como Justina e Caldeira (2014) e Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2013).

Mortimer (2000) optou por acrescentar a distinção ontológica entre as zonas do perfil uma vez que vários problemas de aprendizagem estão centrados na dificuldade de mudança de categoria ontológica, o que é chamado de “obstáculo ontológico”.

[36] A dimensão ontológica adicionada por Mortimer (2000) será explicada adiante.

A ontologia (*on*: o ser, *logos*: teoria) é o estudo mais geral da metafísica, do “ser enquanto ser”, ou seja, do “ser considerado independentemente de suas determinações particulares e naquilo que constitui sua inteligibilidade própria” (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2008, p. 206). Em outras palavras, a ontologia “leva em consideração como é constituído tudo que existe no mundo” (DIMOV; PECHLIYE; JESUS, 2014, p. 10).

A consideração ontológica foi inserida à teoria de Mortimer (2000) e de Amaral e Mortimer (2001), que explicam que se balizaram no trabalho de Chi (1992) acerca da relação entre ontologia e ensino de conceitos.

Michelene Chi (1992) discute dificuldades ontológicas que podem se dar em processos de aprendizagem, considerados pela autora como obstáculos ontológicos. Para a autora, há três categorias de características ontológicas dos conceitos científicos:

- *Matéria*: tem forma, tamanho, cor e “comportamentos”. Inclui, por exemplo, seres vivos, água e elementos artificiais (como vidro e lápis).
- *Abstrações* (ou estados mentais): inclui sentimentos (subcategoria emocional) e pensamentos (subcategoria intencional).
- *Processos*: conjunto de ações ou alterações que ocorrem e resultam em algo. Processos duram certo período de tempo.

Os processos são subdivididos em:

a) *Procedimentos*: realizados por alguém que segue uma sequência de ações predeterminada (CHI, 1992);

b) *Eventos*: causados por agentes causais e têm início e fim claros, no entanto, a ordem de como as ações ocorrerá é desconhecida (CHI, 1992). Um evento é dirigido a um objetivo; isto é, tem um objetivo explícito identificável e o processo do evento visa alcançar esse objetivo (FERRARI; CHI, 1998).

c) *Equilibração*: não há começo e fim delimitados, não podemos dizer que o processo termina; ocorrem interações dinâmicas e contínuas. Não há objetivos específicos ou estado final (FERRARI; CHI, 1998).

Chi (1992) explica que tudo o que existe no mundo está contido em uma das categorias. As entidades de uma categoria não podem se transformar em entidades de outra categoria. A matéria, por exemplo, é dotada de cor, volume e comportamentos, enquanto os processos são conduzidos por variação de tempo, ter começo e fim etc. A matéria não pode ser transformada em evento, por exemplo: o homem (matéria) pode participar de uma corrida (evento) que ocorre por meio de homens em movimento, mas homens não se transformam em corridas (*ibid.*).

O tipo de “processo” denominado “equilibração” é, para Ferrari e Chi (1998), considerado como a categoria na qual a evolução biológica, e mais especificamente a seleção natural, deve estar situada. Os autores pontuam como tal discussão pode estar relacionada com os motivos subjacentes às dificuldades de entendimento dos estudantes acerca do conceito de seleção natural. Muito pertinentes à nossa discussão no que diz respeito à epistemologia e didática da biologia, pretendemos explorar os argumentos dos autores, para subsidiar e fundamentar nosso entendimento acerca dos conceitos que amparam o pensamento evolutivo das concepções alternativas dos alunos.

Os equívocos relacionados às categorias ontológicas são considerados por Ferrari e Chi (1998) como extremamente sérias e dizem respeito à atribuição de conceitos a categorias que são ontologicamente distintas. Ou seja, um conceito é atribuído a uma categoria ontológica equivocada que não compartilha atributos ontológicos com a categoria ontológica correta de tal conceito.

Para exemplificar tal ideia, Ferrari e Chi (1998) explicam que artefatos e seres vivos podem ser considerados por categorias ontológicas distintas, pois artefatos suportam, por exemplo, caracterizações como “feito à mão”, enquanto seres vivos suportam caracterizações como “cresce”. Para os autores, seria muito difícil o entendimento da verdadeira natureza de um objeto se ele é equivocadamente classificado no que diz respeito à ontologia, visto que a classificação equivocada é acompanhada por todas as propriedades incorretas de tal ontologia.

Ferrari e Chi (1998) explicam que um tipo de explicação relacionada aos desentendimentos referentes à evolução diz respeito ao conceito de população, pois o pensamento evolutivo da Síntese Moderna requer um pensamento populacional que é normalmente uma das dificuldades dos alunos. Os autores defendem que o conceito de frequência também representa uma dificuldade importante, visto que uma vez que a evolução pode resultar de mudanças em frequências de diferentes tipos de indivíduos que constituem a população, o entendimento acerca da dimensão de frequência é um requisito.

O conceito de adaptação também é um alvo de mal-entendido, visto que pode ser tratado pelos estudantes como “uma característica que não precisa ser explicada (explicação evolutiva)”[37]. Outra dificuldade está relacionada à integração de diferentes níveis de organização biológica, que inclui genes, indivíduos e populações (FERRARI; CHI, 1998). O último tipo de dificuldade apontada pelos autores está relacionado com a dimensionalidade do tempo evolutivo, que é o aspecto mais explorado por eles.

Para Ferrari e Chi (1998), as dificuldades das explicações dos estudantes para o entendimento da seleção natural ou da evolução não estão necessariamente relacionadas ao entendimento dos princípios darwinistas, mas com a dificuldade de entendimento das características ontológicas de um processo de equilibração, no qual a evolução é corretamente situada. As explicações dos estudantes acerca da evolução estão situadas na ontologia de um processo do tipo “evento” e raramente na ontologia da equilibração.

Quando os alunos engendram explicações não darwinistas, eles tendem a estruturar uma explicação de caráter lamarckista, na qual organismos determinam quais características “precisam para se adaptar”, desenvolver características e transmiti-las para os descendentes em termos de uma herança modificada (caracteres adquiridos). Tais noções são consistentes com um processo causal do tipo classificado como “evento” (FERRARI; CHI, 1998).

[37] A adaptação muitas vezes é entendida como uma parte do organismo ou como uma característica de uma determinada parte, ao invés de ser entendida como o estado derivado de um caráter.

Ideias que se assemelham ao pensamento lamarckistas podem ser mais intuitivas, talvez porque humanos têm predisposição a perceber todos os processos como eventos e contam histórias interpretativas nas quais agentes atuam para transpor obstáculos e perseguir propósitos (FERRARI; CHI, 1998).

Os autores sugerem que a introdução dos conceitos de equilibração poderia auxiliar os alunos no entendimento da natureza da categoria de equilibração, e assim contribuir para o ensino de evolução biológica, o que reitera a importância da categorização ontológica adequada no que diz respeito aos conceitos científicos.

Para Coutinho, El-Hani e Mortimer (2005), a distinção entre obstáculo epistemológico e ontológico é importante porque na aprendizagem de conceitos científicos podem ser encontrados tanto obstáculos à mudança de categorias ontológicas relacionadas aos conceitos (CHI, 1992), quanto obstáculos epistemológicos (segundo a proposta de Bachelard, 1996).

Consideramos que a discussão relativa ao obstáculo ontológico pode contribuir para este trabalho, visto que embora os autores Ferrari e Chi (1998) não tenham empregado o termo “teleologia” no artigo, há muitas aproximações possíveis com o cerne desse trabalho, visto que os autores fazem alusão à comparação entre artefatos e seres vivos, tratando-os como elementos de ontologias diferentes. Os autores também tratam da ontologia referente ao tempo, que é categorizado como “processo”, e, ao explicar que frequentemente a seleção natural é entendida como um “evento” e não como um processo de “equilibração”, introduzem uma importante fundamentação que pode ser acrescida à análise das concepções alternativas dos estudantes.

No que diz respeito à teleologia empregada ao entendimento do processo evolutivo, Ferrari e Chi (1998) (ainda que sem menção ao termo “teleologia”) tratam da dificuldade que os alunos têm em entender que a seleção natural não é dirigida a objetivos e que não há um termo final, pois se trata de um processo contínuo, enquadrado na definição de processo de equilibração. Portanto, justifica-se a inclusão da contribuição teórica dos autores a esse trabalho.

4.1.1 Considerações a respeito de um pluralismo de alternativas para se pensar o ensino e a aprendizagem em ciências

Em um trabalho realizado por Fernando Bastos, Roberto Nardi, Renato Eugênio da Silva Diniz e Ana Maria de Andrade Caldeira (2004), os autores discutem acerca da importância da não centralização do ensino e aprendizagem de ciências em apenas um modelo, como a mudança conceitual ou o modelo de mudança de perfil conceitual de Mortimer (2000). Primeiro, os autores argumentam que há de se considerar que exista a possibilidade de pessoas mudarem radicalmente de ideia, o que não poderia ser classificado na mudança de perfil conceitual de Mortimer. Os autores concordam que em outras vezes, no entanto, as pessoas podem conviver com duas perspectivas diferentes.

Mais complexo do que mudar radicalmente de ideia ou conviver com duas ideias simultaneamente, os autores descrevem que há ainda outra possibilidade. Para desenvolver a arguição, Bastos *et al.* (2004) distinguem (a) verdades ou concepções de um indivíduo e (b) discurso do indivíduo em um contexto do cotidiano. Uma concepção para os autores “é uma ideia com a qual o indivíduo compactua em larga escala, e que representa uma crença sua acerca de um dado aspecto do mundo natural” (BASTOS *et al*., 2004, p. 23).

Bastos *et al.* (2004) consideram importante fazer a distinção entre as concepções e o discurso cotidiano pois muitas vezes as formulações de um indivíduo não representam suas concepções. Para exemplificar, os autores citam um físico que considera a ingenuidade de afirmações relativas à existência de uma entidade denominada “frio” à luz de conceitos físicos, mas verbaliza no cotidiano os termos “frio” e “calor”, como a cultura consagrou. Nesse exemplo, não se trata de duas concepções distintas que coexistem, há apenas a concepção científica:

> Não há perfil propriamente dito, enquanto conjunto de concepções divergentes que coexistem, e sim uma situação bastante banal em que um indivíduo que possui conhecimentos a respeito da linguagem cotidiana empregada num certo meio cultural *possui também* uma dada concepção científica (BASTOS *et al*., 2004, p. 31, grifo dos autores).

Há ainda outra situação distinta, citada por Bastos *et al.* (2004) que é a aquisição de conhecimentos que não possuem *status* de concepção. Tal tipo de

aquisição de conhecimentos incluiria, por exemplo, o ensino de evolução, que por abordar ideias também abordadas por religiões, não poderia almejar a mudança conceitual. Se o ensino visa a mudança conceitual por conceitos de evolução biológica, há o risco de ir de encontro com a liberdade dos estudantes no que se refere às crenças religiosas. O objetivo então seria “fazer com que os alunos adquiram e/ou aperfeiçoem uma compreensão satisfatória acerca das explicações científicas, independentemente de aceitarem ou não essas explicações” (BASTOS *et al*., 2004, p. 32).

Os autores tratam tal forma de aprendizagem como “aprendizagem com compreensão”, que não requer necessariamente mudança conceitual ou mudança de perfil conceitual (BASTOS *et al.,* 2004, p. 32).

Em conclusão, os autores defendem que a aprendizagem pode seguir por vários modelos, o que pode incluir mudança conceitual, formação de perfil conceitual e construção de conhecimentos sem *status* de concepção (aprendizagem com compreensão) ou pode ocorrer de forma combinada e concomitante de dois ou mais processos (BASTOS *et al*., 2004).

Nas palavras dos autores “gasta-se um tempo enorme exaltando um dado modelo em detrimento de outro, como se fosse possível estabelecer explicações únicas que contemplassem todas as situações e para sempre” (BASTOS *et al.,* 2004, p. 13).

Nesse trabalho, como buscamos a viabilização da vigilância epistemológica e da metacognição que permitam ao aluno entender em quais aspectos biológicos há validade de interpretação de forma teleológica, não se trata de mudança conceitual. Trata-se de reconhecer contextos aos quais a teleologia pode ser aplicada adequadamente, o que se aproxima da proposta de mudança de perfil conceitual de Mortimer (2000).

Também objetivamos a evolução conceitual dos alunos no que diz respeito aos modelos explicativos da evolução biológica (teoria transformacional, teoria selecionista e pluralismo de processos). Mesmo nesse caso, não se trata de mudança conceitual, visto que no quadro contemporâneo da Síntese Estendida há a incorporação de todos esses modelos explicativos que podem atuar, ou não,

simultaneamente na evolução biológica. Novamente se trata da viabilização da vigilância epistemológica e da metacognição aos estudantes, para que possam avaliar as próprias formulações para enquadrá-las no contexto adequado.

No que diz respeito à aprendizagem com compreensão, que corresponde ao aprendizado de conceitos sem *status* de concepção, nossos dados não apontaram para um discurso dissociado de concepções, pois os alunos explicavam de várias formas diferentes a mesma ideia, repetidamente (ver item 7 desse trabalho).

Mais uma observação a ser feita a respeito da opção definida no trabalho relativa à mudança de perfil conceitual de Mortimer (2000) se refere à importância da teleologia como uma forma de pensamento humano. Além de ser adequada para algumas formas de explicações biológicas, a teleologia pode representar uma forma de interpretação do mundo que pode estar associada a crenças religiosas. Sendo assim, poderia haver coexistência de diferentes tipos de emprego de teleologia na mente e na fala do estudante. Cabe ao processo de ensino viabilizar formas de identificação de usos apropriados e inapropriados de teleologia no que diz respeito às concepções científicas.

Ainda assim, optamos por incluir a discussão supracitada acerca da pluralidade de abordagens, visto que nem sempre o ensino de evolução ocorrerá com as mesmas circunstâncias desse trabalho.

4.1.2 Estratégias de ensino na perspectiva da mudança de perfil conceitual

Enquanto o conflito cognitivo mostra-se uma estratégia de ensino adequada ao modelo de mudança conceitual, na mudança de perfil conceitual, outras formas de ensino são apontadas por Mortimer (2000). Por exemplo, uma importante estratégia a ser utilizada pelo professor é a promoção da tomada de consciência do próprio perfil, pois a falta de tal consciência pode fazer com que o aluno tente generalizar um conceito para situações novas, sem critérios. O autor também ressalta que é papel do professor auxiliar os estudantes na transposição de obstáculos ao desenvolvimento de concepções localizadas em perfis conceituais mais avançados.

O papel das concepções prévias no ensino, segundo Mortimer (2000), pode ser o de configurar um obstáculo ao desenvolvimento de um novo conceito. Nesses

casos, intervenções serão necessárias para que o estudante possa identificar as contradições, ainda que tais intervenções não devam visar o abandono de antigas visões. Nas intervenções do professor, a existência e descrição do obstáculo podem ser explicitados e discutidos. A tomada de consciência da existência de diferentes zonas de perfil também pode ser mediada pelo professor para que o estudante possa analisar as próprias concepções – tal análise do próprio pensamento se assemelha ao conceito de "metacognição". Para Mortimer (*ibid*.), a tomada de consciência consiste no reconhecimento do que o estudante pode fazer no domínio e contexto em que as ideias são aplicáveis. Ao empregar critérios de coerência, consistência lógica e concordância com evidências experimentais, o aluno passa a exibir a habilidade de analisar o próprio pensamento.

No processo de ensino, Mortimer (2000) defende a necessidade de situações nas quais os estudantes possam generalizar o uso dos conceitos aprendidos a novos contextos, o que pode ser viabilizado pela discussão de situações problemáticas. É provável que, nesses momentos de generalização, o estudante empregue o conceito anterior, devido à familiaridade. É importante, portanto, que as concepções sejam explicitadas, criticadas e avaliadas, não para reduzir a plausibilidade da concepção, mas para ressaltar em quais contextos o emprego de determinada concepção é plausível.

Em síntese, nas estratégias de ensino, imersas na perspectiva da mudança de perfil conceitual, deve-se preconizar a superação de obstáculos epistemológicos e ontológicos e a tomada de consciência da existência e caracterização de perfis conceituais.

4.2 Concepções dos alunos relativas à evolução biológica na literatura

Faremos alusão, nesse subtópico, às pesquisas relativas às concepções referentes à evolução biológica exibidas por alunos de diferentes níveis de ensino. Segundo Gregory (2009), estudos tem evidenciado continuamente o quanto a seleção natural é mal compreendida, desde o público leigo até os níveis de pós-graduação. As dificuldades de entendimento do processo evolutivo resultam, em parte, da incompatibilidade entre o modelo científico e as concepções alternativas dos estudantes.

Andrade *et al.* (2013) apontam que ainda no último ano do curso de Ciências Biológicas graduandos apresentam concepções finalistas de evolução, pois consideram que a evolução é um meio para um fim específico e que a natureza tende a atingir um caminho de melhora das espécies. Mesmo entre professores graduados que atuam na docência no Ensino Médio, há concepções referentes a um suposto progresso no processo evolutivo que estão apoiadas em uma ideia de que a evolução conduz à melhoria dos organismos, e, que pressupõe o homem como um organismo mais complexo (MEGLHIORATTI; CALDEIRA; BORTOLOZZI, 2006).

Segundo Sepúlveda e El-Hani (2007), uma das concepções constantemente declaradas por estudantes é a de identificar uma função atual para uma estrutura ou um comportamento, de modo que tal apontamento é tomado como suficiente para explicar a existência daquela estrutura ou daquele comportamento. Ou seja, o estudante não reconhece a necessidade de se explicar as causas evolutivas da existência de um traço biológico (ausência de explicação etiológica)[38].

Para Bardapurkar (2008), é comum observar alunos explicando mudanças adaptativas como uma resposta consciente do organismo impulsionado pela necessidade de sobreviver a um ambiente que sofreu modificações. Segundo Gregory (2009), na perspectiva dessa concepção alternativa, os estudantes tendem a tratar a evolução como um processo que percorre um caminho necessariamente progressivo, impulsionado pelo árduo trabalho consciente e intencional de organismos (incluindo animais, plantas e até organismos unicelulares). Assim, segundo Gregory (*ibid*.), o aluno percebe a evolução biológica como um processo de transformação individual.

Gregory (2009) também aponta outras concepções alternativas expressas por alunos de diferentes níveis de ensino e elenca, por exemplo, o uso e desuso de órgãos como uma fonte de mudança evolutiva, um tipo de explicação normalmente mobilizada quando se trata de órgãos vestigiais ou perda de um caráter ao longo de

[38] Sepúlveda e El-Hani (2007) preocupam-se com esse tipo de concepção alternativa, que não reconhece a necessidade de explicações evolutivas para os traços porque a biologia deve ser entendida, como defende Mayr (2008) por causas próximas e causas evolutivas. Quando um estudante não inclui a necessidade de conferir explicações evolutivas para os traços biológicos, provavelmente este aluno não entende a importância do pensamento evolutivo para a caracterização do conhecimento biológico.

linhagens evolutivas. Além do uso e desuso, os alunos constantemente mobilizam explanações fundamentadas na lei dos caracteres adquiridos, uma vez que não são capazes de distinguir células germinativas de células somáticas (uma distinção necessária para a compreensão de que mutações em células somáticas dificilmente são transmitidas aos descendentes, uma vez que não necessariamente ocorrem nas células germinativas). Embora atualmente sejam consideradas plausíveis formas de herança de caracteres adquiridos (JABLONKA; LAMB, 2010; FRANCIS, 2015), não se trata de casos como aqueles citados pelos alunos.

Outra concepção apontada por Gregory (2009) é o entendimento da seleção natural como um agente ativo que toma decisões ou que “faz escolhas”. Autores de materiais didáticos e professores mobilizam uma linguagem que favorece esse entendimento principalmente quando encurtam um raciocínio ao trocar termos próprios da área de estudo da evolução biológica, por termos coloquiais e expressões cotidianas como “a seleção natural escolheu”, “a seleção natural favoreceu” ou “o organismo foi selecionado para”. Tais formulações encontradas em materiais didáticos e no discurso dos professores, segundo o autor, são “atalhos” da linguagem que podem culminar em uma compreensão teleológica ou antropomórfica do processo evolutivo.

Há uma conclusão similar à do trabalho Gregory (2009) no trabalho Ceschim, Oliveira e Caldeira (2015), no qual é feita a proposição acerca de alguns cuidados referentes às formulações dos professores com a finalidade de reduzir termos coloquiais e expressões inespecíficas que tornem o sentido da frase antropomórfico ou teleológico. Uma proposta é substituir a preposição “para” pela preposição “por” na estrutura das frases. Por exemplo: a frase “ao longo do tempo essas serpentes devem ter se adaptado *para* matar mais rápido as aves, uma vez que elas deixam fugir com mais facilidade quando o veneno agia lentamente” poderia ser alterada da seguinte forma “ao longo do tempo essas serpentes se adaptaram *por* matarem aves mais rapidamente, uma vez que elas deixam fugir com mais facilidade quando o veneno agia lentamente”.

Outra concepção alternativa comumente encontrada, segundo Gregory (2009) é o entendimento do surgimento de mutações como uma resposta a uma necessidade do organismo, pressupondo um caráter benéfico em todas as mutações

que podem surgir. Os estudantes tendem a apontar que mutações surgem como soluções quando os organismos estão diante de desafios ambientais.

Sepulveda e El-Hani (2007) e Gregory (2009) citam também o essencialismo como uma concepção comumente expressa por alunos, que nesse caso consiste em pressupor uma uniformidade entre todos os organismos de uma espécie. Nessa perspectiva, se uma transformação ocorre, atinge todos os organismos concomitantemente.

Gregory (2009) pontua que também é comum que os alunos entendam a seleção natural como um evento único e não como um processo, ou seja, a seleção ocorreria de forma a fixar uma característica adaptativa que surge em uma única geração – uma crítica que coincide com a explanação de Ferrari e Chi (1998). Normalmente, essa concepção vem acompanhada de uma compreensão de que há dois tipos de organismos: os não adaptados e os adaptados. Os primeiros são extintos e os segundos sobrevivem. Para Sepulveda e El-Hani (2007), a concepção que localiza o surgimento de novos traços biológicos em um único ciclo de vida é um “erro categórico”, pois são atribuídas características ontológicas de um tipo de processo a outro. Nesse tipo de equívoco, os alunos não distinguem adaptações evolutivas (que ocorrem ao longo de várias gerações) de adaptações fisiológicas ou ontogenéticas (que ocorrem ao longo de um ciclo de vida) – também uma crítica que coincide com a explanação de Ferrari e Chi (1998).

Para Gregory (2009), a tendência do uso da linguagem imprecisa em espaços de ensino reforça tais concepções incompatíveis com o modelo científico de evolução biológica, concepções denominadas por Sepúlveda e El-Hani (2007, p. 1) como “obstáculos epistemológicos e ontológicos à compreensão do conceito darwinista de adaptação”.

Nosso trabalho não trata somente dos aspectos selecionais da evolução biológica, pois incluímos também a perspectiva da evo-devo. Assim, serão apresentados a seguir as concepções e dificuldades de aprendizagem referentes à área de estudo da biologia evolutiva do desenvolvimento.

Hiatt *et al*. (2013) apontou que ao questionar graduandos no que diz respeito aos fenômenos que atualmente são explicados por meio de conceitos consolidados

na evo-devo (como os genes reguladores do desenvolvimento), foram obtidas porcentagens muito baixas de respostas coerentes. A maioria das respostas evocava processos estritamente seletivos ou processos evolutivos fundamentados em um pensamento teleológico (organismos evoluem para atingir um objetivo). Alguns alunos formularam respostas com caráter antropomórfico, outros com caráter essencialista.

Quanto aos alunos que introduziram explicações selecionistas, Hiatt *et al*. (2013) decidiram conferir se os alunos utilizavam a seleção natural como uma primeira impressão ou se somente dispunham desse mecanismo para propor explicações; para tanto, realizaram entrevistas individuais com os alunos e, ainda assim, os alunos mobilizavam somente a seleção natural para explicar os fenômenos propostos. Um equívoco constantemente constatado pelos autores foi a concepção de que um gene codifica um único traço, sendo que o estudo da evo-devo deveria contribuir para a compreensão de uma rede complexa de genes atrelada a vários contextos de desenvolvimento. Os autores apontam que os cursos tradicionais fragmentam o conhecimento biológico em disciplinas compartimentadas, o que impede o pensamento complexo que integra as áreas de estudo da biologia. As contribuições da evo-devo para o ensino, segundo os autores, poderiam estimular a integração das disciplinas biológicas, com a desmitificação a respeito da origem de inovação (uma vez que a alteração de processos reguladores do desenvolvimento pode resultar em modificações do organismo).

A proposta de Hiatt *et al*. (2013) é a de que níveis inferiores de ensino também deveriam introduzir conceitos referente à regulação de genes, além da transcrição simples do DNA. A evolução poderia ser ensinada para além do nível populacional, de modo a incluir a inovação evolutiva por alteração na regulação gênica utilizando exemplos simples de regulação gênica e das diferenças morfológicas exibidas entre grupos de seres vivos. Outro apontamento dos autores é o de que o conteúdo da evo-devo é tratado em disciplinas como embriologia e evolução, o que é insuficiente para uma compreensão adequada da evo-devo, que deveria estar presente em todo o currículo das Ciências Biológicas.

Em resumo, pode-se dizer que o entendimento do processo evolutivo requer a transposição de obstáculos epistemológicos e ontológicos que dificultam a

aprendizagem da evolução por seleção natural e da biologia evolutiva do desenvolvimento. O pensamento teleológico e o essencialismo estão presentes em muitas pesquisas referentes às concepções dos estudantes, assim como os equívocos relativos à natureza da variação, que ora é compreendida pela lei dos caracteres adquiridos, ora é compreendida por uma gênese teleológica de mutações benéficas. De qualquer forma, a origem da variação, seja por caracteres adquiridos ou por mutações, é entendida como uma resposta à necessidade do organismo.

Os alunos tendem a confundir o tempo ontogenético com o tempo filogenético e o fazem porque normalmente associam a origem de uma inovação evolutiva à necessidade do organismo. Em suma, seja por uso e desuso, por lei dos caracteres adquiridos, pelo entendimento da seleção natural como um agente ativo, pelo essencialismo ou pelo entendimento da seleção como um evento único, as concepções dos alunos estão fortemente atreladas a um pensamento teleológico. A teleologia se configura como um grande “leque” que abrange as demais formas equivocadas de entendimento evolutivo comumente observadas nos estudos contemporâneos.

Passaremos a explorar esse argumento adiante, mas vale ressaltar que a teleologia pode ser considerada a grande categoria de concepção alternativa dos alunos visto que:

- O “uso e desuso” é um processo indicado pelos alunos para indicar que as estruturas são modificadas segundo as necessidades (ou ausências de necessidades) dos organismos (atendimento de metas);
- O surgimento da variação por lei dos caracteres adquiridos ou por mutações que são indicadas como benéficas são entendidas como respostas do organismo aos desafios ambientais durante o tempo ontogenético (atendimento de metas);
- As concepções equivocadas no que diz respeito ao tempo evolutivo, que incluem (a) conceber a seleção natural como um evento único, (b) conceber adaptações fisiológicas sem distinção de adaptação evolutiva e (c) o essencialismo, são pré-requisitos para que o pensamento teleológico seja cabível na perspectiva do atendimento de necessidades;

- O emprego de explicações funcionais como respostas suficientes à existência de estruturas (ausência de explicação etiológica)[39] e a personificação de processos evolutivos que atribuem consciência e intenção à seleção natural (ou aos organismos) são essencialmente concepções teleológicas, cuja gênese pode estar relacionada à generalização do raciocínio referente à origem de artefatos.

Devido à grande importância do pensamento teleológico como um obstáculo ao entendimento do processo evolutivo, optamos por explorar (durante os encontros do GPEB) tanto as possíveis concepções teleológicas dos alunos quanto formas de avançar para perfis conceituais compatíveis com o modelo teórico da evolução biológica por seleção natural e por vias de desenvolvimento.

4.3 A teleologia no ensino e aprendizagem de biologia

Pesquisas têm-se centrado na investigação da hipótese de a explicação teleológica ser inata e de a aplicação seletiva da explicação teleológica aumentar com a idade (KELEMEN, 2012). Os resultados apontam para a ideia de que as crianças inicialmente estendem explicações teleológicas para qualquer interpretação que necessitem realizar (*ibid*.). Enquanto crianças atribuem explicações teleológicas para todos os tipos de objetos, incluindo elementos inanimados e seres biológicos, adultos somente tendem a aceitar explicações teleológicas para artefatos e traços biológicos.

A teleologia configura uma forma intuitiva de entendimento, devido à estreita associação com explicações intencionais de comportamento proposital (LOMBROZO, 2006), que consiste em generalizar a ideia da criação de artefatos por organismos pensantes (os humanos) de forma inadequada.

Como pontua Engvild (2015), para as crianças tudo tem um significado, intenções ou finalidade, pois as crianças são intrinsecamente motivadas para procurar os significados teleológicos, o que, para o autor é entendido da seguinte maneira: a linguagem e o pensamento teleológico têm um papel biológico na detecção de agentes com potencial predatório ou prejudicial.

[39] Significa a ausência de explicação evolutiva para os traços.

Galli e Meinardi (2009) analisaram as concepções acerca da evolução biológica em alunos do Ensino Médio e concluíram que há caráter teleológico nas explicações dos alunos, principalmente quando explicam que a origem da variabilidade visa a adaptação. Para Galli e Meinardi (2011), o modo como os cientistas se referem à evolução biológica contribui significativamente para a predisposição dos alunos às explicações teleológicas.

Segundo Ribeiro *et al*. (2011; 2015), o pensamento teleológico é o principal obstáculo epistemológico para o conhecimento nas ciências biológicas, pois contempla um finalismo que compreende uma tendência à perfeição ou a um melhoramento. Para os autores, o pensamento teleológico é incompatível com as ciências biológicas e não há base científica para a permanência do pensamento teleológico na biologia.

Galli e Meinardi (2011) não rompem com a teleologia, como o fazem Ribeiro *et al*. (2011; 2015). Ao contrário, os autores admitem que não haja forma possível para a completa eliminação do caráter teleológico das explicações biológicas. Tal posicionamento é também defendido por Zohar e Ginossar (1998), que explicam que a eliminação de formulações[40] antropomórficas e teleológicas no discurso da ciência tanto da escola quanto dos meios de comunicação é impossível. Os estudantes mantêm um constante e inevitável contato com as formulações antropomórficas e teleológicas e, devido à ausência de consenso entre filósofos e biólogos no que concerne à adequação das explicações teleológicas, uma rejeição universal não pode ser defendida.

Para Zohar e Ginossar (1998), a declaração de formulações antropomórficas e teleológicas não necessariamente implica um raciocínio antropomórfico ou teleológico subjacente. Para estudantes do Ensino Médio, tais formulações representam uma maneira conveniente de discursar. Para profissionais que utilizam tal linguagem, se pressupõe que o raciocínio não está distorcido, pois a linguagem exibe uma maneira metafórica de expressar o próprio pensamento. Admitimos que

[40] "Formulações" são tratadas com um sentido distinto de "explicações" para Zohar e Ginossar (1998). As formulações representam a linguagem do emissor, enquanto as explicações são dotadas de uma forma de compreensão. Assim, não necessariamente formulações declaram de forma fidedigna o entendimento do emissor.

não haja justificativa suficiente, nem meios possíveis para a eliminação das formulações teleológicas nas salas de aula de Ensino Médio, mas supor que um profissional que emprega formulações teleológicas o faz de forma metafórica é uma afirmação demasiadamente especulativa.

As explicações teleológicas são, sim, empregadas por professores, biólogos e por estudantes tanto no Ensino Básico quanto no Ensino Superior e há compreensões implícitas nas expressões teleológicas que são incompatíveis com o modelo darwinista e que precisam ser remediadas por intervenções no ensino; porém há muito que se discutir para determinar a abordagem de tais intervenções. Eliminar a explicação teleológica da biologia significaria também a redução heurística e explicativa dessa ciência, assim, devem-se determinar quais são os usos apropriados e inapropriados da teleologia na biologia (Carmo; Nunes-Neto; El-Hani, 2012) para que seja possível a proposição de intervenções no ensino da biologia.

Sepúlveda, Nunes-Neto e El-Hani (2011) discutem o potencial heurístico e pedagógico que a linguagem teleológica pode ter na sala de aula em nível de Educação Básica. Os autores referem-se à evolução biológica e defendem o emprego do pensamento teleológico para o entendimento da origem das adaptações segundo o darwinismo. Os autores assentem a proposta de Caponi (2001), de que a adaptação pode ser descrita em termos teleológicos quando se refere somente às pressões seletivas e ao aumento de determinada característica em uma população, ou seja, diante de uma situação questionam-se quais são as estruturas que melhor responderiam a determinada condição. Para os autores, algumas formulações teleológicas são necessariamente parte da investigação darwinista de adaptação, porém há formas de proposições teleológicas inapropriadas e incompatíveis com a perspectiva darwinista que consistem na negação do caráter cego e não-dirigido da origem das variações. Assim, os autores dividem as formulações teleológicas em dois tipos:

(1) Formulação teleológica considerada apropriada:

> [...] formulações teleológicas relativas à noção de solução de problemas. Estamos nos referindo a enunciados em que o tema consiste em designar uma estrutura orgânica, um padrão de comportamento ou um processo fisiológico como sendo o meio ou o

> mecanismo para realização de uma determinada função ou propósito (SEPÚLVEDA; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011, p. 5).

(2) Formulação teleológica considerada inapropriada[41] por exibir incompatibilidade com a perspectiva darwinista:

> O segundo tipo de formulações teleológicas inclui enunciados em que se atribui intencionalidade e progressão em direção a uma meta como fatores que guiam o processo evolutivo, ou enunciados em que se propõe alguma vinculação teleológica entre origem da variação e necessidades colocadas por pressões seletivas (SEPÚLVEDA; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011, p. 6).

Ainda que algumas formulações teleológicas sejam apontadas como inapropriadas, os autores defendem que a linguagem teleológica não deve ser censurada na sala de aula, uma vez que desempenha papel heurístico e pedagógico por permitir a expressão e discussão dos alunos, que podem posteriormente (após ter contato com a linguagem científica) aumentar a frequência de emprego da linguagem científica, um posicionamento também defendido por Zohar e Ginossar (1998).

Sepúlveda, Nunes-Neto e El-Hani (2011) concluem que em sala de aula, pode-se tornar explícita a diferença entre tipos de formulações teleológicas “válidas em inválidas” para que se esclareçam as características da perspectiva darwinista e para o desenvolvimento da consciência da própria linguagem nos alunos.

Zohar e Ginossar (1998) engendraram uma conclusão semelhante ao defender que é aconselhável permitir e estimular em sala de aula as declarações explícitas que exibem caráter teleológico para que seja possível a discussão do significado de tais formulações, de forma a especificar os significados.

Nós assentimos a posição supracitada, pois ainda que para o Ensino Superior, se considerarmos que os professores de biologia formados deverão auxiliar os próprios alunos na tomada de consciência da distinção das formas apropriadas e inapropriadas de explicações biológicas com caráter teleológico, é

[41] É possível realizar aproximações entre a distinção de formulações teleológicas apropriadas e inapropriadas acerca da perspectiva darwinista de evolução de Sepúlveda, Nunes-Neto e El-Hani (2011) e o Quadro 2 desse trabalho. A formulação teleológica considerada apropriada coincide com a categoria “causa próxima – sincrônica e populacional” que representa a ecologia. E a formulação teleológica considera inapropriada coincidiria com a categoria “causa última – diacrônica e populacional”.

necessário, na formação inicial do graduando, o estudo do conteúdo implícito na linguagem utilizada rotineiramente. Ou seja, os estudantes de biologia de nível superior poderiam ter um espaço formativo em que pudessem desenvolver a autoconsciência da linguagem que empregam para descrever fenômenos biológicos, principalmente no que tange à evolução.

Galli e Meinardi (2011) propõem que para que os estudantes alcancem a consciência da própria análise dos sistemas biológicos, é preciso tornar explícito o que está implícito nas formas de pensamento, para que possam identificar e monitorar as próprias variações de raciocínio. Os autores indicam que o educador pode tratar do obstáculo teleológico[42] de forma direta, inclusive conceituando a explicação teleológica, para promover o reconhecimento da incompatibilidade de algumas proposições teleológicas com o conhecimento científico.

Assim seria plausível (exceto para o discurso dos professores) o emprego de proposições como “A estrutura X é boa para fazer Y” ou “A estrutura X foi desenvolvida ao longo da evolução para fazer Y”, desde que o emissor de tais proposições estivesse consciente da ambiguidade inerente nessa forma de pensamento teleológico. O importante é que os estudantes sejam capazes de discriminar o significado ambíguo de tais formulações teleológicas.

Para Galli e Meinardi (2011), o educador somente viabiliza aos alunos a capacidade do reconhecimento da própria linguagem se permite a identificação das distinções referentes aos usos apropriados e inapropriados de teleologia em discussões que incluem perguntas com situações problemáticas e integradoras. As ideias dos alunos podem ser expressas de forma espontânea para que sejam objeto de autoanálise, sem censuras. Ao propor explicações alternativas, contrastando-as com as proposições teleológicas inapropriadas dos alunos, a ambiguidade antes invisível ao aluno, pode passar a ser detectável. Os autores explicam que em casos em que a explicação teleológica é inadequada, como na origem da variabilidade, os alunos podem ser solicitados a repetir a expressão da mesma ideia de forma não-teleológica. Os alunos também podem ser convidados para uma análise das próprias falas, para que possam identificar formulações incompatíveis com o modelo

[42] O termo “obstáculo teleológico” será explorado no tópico 5.4.

científico. Para os autores, tais estratégias podem contribuir para o desenvolvimento de competências metacognitivas dos alunos.

Galli e Meinardi (2011) concluem que não é necessário direcionar esforços para a eliminação do pensamento teleológico no ensino de biologia, mas é necessária a intervenção que propicie o estímulo da capacidade de o estudante se tornar consciente das variações e ambiguidades de formulações teleológicas (metacognição), o que é também denominado vigilância epistemológica (Galli e Meinardi, 2009). A vigilância epistemológica é um termo empregado por Bourdieu (BOURDIEU; CHAMBOREDON; PASSERON, 1999) no contexto da pesquisa científica e consiste na contínua interrogação das condições e limites da validade de utilização de técnicas e conceitos. Para o autor, a vigilância epistemológica é repensar a aplicação automática de procedimentos rotineiros.

4.4 A configuração do obstáculo teleológico

Uma faca serve para cortar, mas pode ser usada para transferir alimento de um local a outro. Uma cadeira serve para acomodar uma pessoa sentada, mas pode acomodar peças de roupa que ainda não foram devidamente guardadas. Um objeto pode ter sido originado para exibir determinado desempenho, mas passa a exibir vários tipos de desempenhos. A lua exerce influência sobre as marés, mas não foi originada para realizar tal papel. Em biologia, dizer que a lua foi originada para influenciar as marés (o que soa como um absurdo) é um hábito comum: em lugar da lua, uma característica de um ser vivo recebe uma explicação acerca da sua origem com base no desempenho que ela exibe (função entendida na perspectiva do *efeito selecionado* ou *concepção etiológica de função*).

Richard Dawkins (2001) afirma que devido ao modo humano de conceber o mundo, há uma predisposição natural para o não entendimento do darwinismo. Primeiro porque algumas pessoas entendem que a evolução ocorre por puro acaso e facilmente encontram argumentos que possam refutar um processo que originou tamanha biodiversidade somente regida por aleatoriedade. Em segundo lugar, Dawkins aponta a dificuldade do cérebro humano em lidar com as escalas de tempo evolutivas (normalmente milhares ou milhões de anos), que geralmente excedem o tempo no qual uma pessoa pode presenciar e observar o desenrolar dos processos.

Em terceiro lugar, o autor aponta o sucesso humano ao se comportar como designer criativo. O humano criou a faca e obviamente correlaciona a finalidade desse objeto à necessidade que motivou sua origem: a faca foi criada com a finalidade de cortar; assim a necessidade de um objeto que cortasse motivou a criação da faca. A fulcral diferença existente entre os artefatos e os organismos vivos é a presença ou a ausência de antevisão intencional que constrói um projeto com a pretensão de que ele possa exibir um determinado desempenho.

A tendência é que as pessoas projetem as próprias experiências para outras circunstâncias, assim as próprias aspirações e metas conscientes são estendidas para o entendimento de outros fenômenos, o que se configura como um raciocínio antropomórfico e teleológico (ZOHAR; GINOSSAR, 1998).

É comum na literatura a menção às concepções de estudantes que se configuram de forma diferente das concepções darwinistas do processo evolutivo, tanto na Educação Básica como no Ensino Superior (ver, por exemplo, Sepúlveda; El-Hani, 2007; 2014 e Sepúlveda; Mortimer; El-Hani, 2013) e na pós-graduação (GREGORY; ELLIS, 2009). Nas declarações de alguns estudantes, o processo evolutivo é retratado como a resposta que o organismo confere às necessidades de um dado momento, ou seja, uma mudança evolutiva é desencadeada por uma necessidade e transformações individuais dos organismos resultam em adaptações ao ambiente, um tipo de estrutura explanatória teleológica (BARDAPURKAR, 2008). Até mesmo estudantes de pós-graduação engendram explanações teleológicas (GREGORY; ELLIS, 2009).

As implicações negativas do pensamento teleológico na aprendizagem de evolução dizem respeito, principalmente, ao entendimento teleológico da seleção natural, no qual se entende que a evolução dos organismos é uma resposta às necessidades (suposição de que o organismo tem um poder intrínseco de adquirir um traço hereditário segundo a necessidade biológica durante um único ciclo de vida).

A autora Debora Kelemen (2012) realizou várias pesquisas nas quais buscava compreender a gênese do pensamento teleológico na infância e constatou que se trata de uma tendência interpretativa que tende a surgir nos primeiros anos

escolares (KELEMEN, 2012; BARDAPURKAR, 2008). A partir de 4 anos de idade, segundo Kelemen (2012), as crianças já iniciam uma visão teórica que corresponde ao pensamento referente aos artefatos, ou seja, já são capazes de reconhecer um projeto proposital e o domínio de artefatos intencionalmente criados. A autora explica, que a tendência ao pensamento teleológico nas crianças não é resultado de um raciocínio que considere a função, a utilidade ou o efeito de objetos, mas a generalização da forma de conceber a criação intencional de artefatos. A autora aponta que o legado do pensamento teleológico formado na infância perpetua uma generalização de forma de pensar que implica dificuldades para o entendimento do processo evolutivo por seleção natural.

Tendo em vista a perpetuação da forma teleológica de pensar e as implicações negativas que podem ser refletidas no ensino de evolução, a autora defende que atrasar a exposição da teoria da seleção natural até o estágio de adolescência dos alunos culmina na consolidação das ideias intuitivas que passam a estar menos suscetíveis a uma reconstrução. Em contrapartida, em várias pesquisas é possível constatar que crianças entre quatro e seis anos já são capazes de entender vários dos pressupostos necessários para a compreensão da seleção natural, e, alguns estudos já mostram resultados favoráveis ao argumento da autora quanto à antecipação do ensino do conceito de seleção natural (KELEMEN, 2012).

Na evolução biológica, os processos que originam inovações não são providos de antevisão ou planejamento. A pena das aves que inicialmente permitiu isolamento térmico é atualmente empregada em muitos grupos de aves também para o voo, mas o surgimento da pena não está relacionado com nenhum dos dois desempenhos.

A identificação da aleatoriedade no surgimento da variabilidade é um passo fundamental para a aprendizagem do processo evolutivo. O apontamento de tipos de mutações genéticas e cromossômicas que possam ser neutras, benéficas e prejudiciais é uma estratégia que pode contribuir para a aprendizagem da caracterização da origem da variabilidade.

Galli e Meinardi (2011) explicam que ao pensar em como os organismos evoluem, é comum que as pessoas assumam que a evolução está intimamente

relacionada com a prossecução de determinados fins, tais como sobrevivência. O poder explicativo dessa formulação explica a resistência à mudança de concepção, pois a forma intuitiva de pensamento formulada pela pessoa está altamente corroborada, principalmente pela experiência cotidiana fora de ambientes formais de ensino. É difícil perceber as limitações da própria forma de pensar quando são muito raras as situações em que as formulações contra-intuitivas do modelo darwinista são contrapostas.

Como apontamos anteriormente, para Ribeiro *et al*. (2011; 2015) o pensamento teleológico é o principal obstáculo epistemológico para o conhecimento nas ciências biológicas. O conceito de obstáculo epistemológico empregado é bachelardiano. Gaston Bachelard (1884–1962) considera que há obstáculos no ato de conhecer e a superação de tais obstáculos engendra o progresso científico, de modo que um conhecimento anterior é desconstruído por uma ruptura[43] constituída por um movimento contínuo de reelaboração do conhecimento. Para Bachelard, muitas causas de estagnação ou regressão são explicadas por obstáculos epistemológicos, que normalmente se explicam pelo seguinte: “diante do real, aquilo que cremos saber com certeza ofusca o que deveríamos saber” (BACHELARD, 1996, p. 18).

A formação do espírito científico, para o autor, é viabilizada por meio da superação de obstáculos epistemológicos, que decorre da negação do conhecimento anterior, ou seja, da reordenação do saber (BACHELARD, 2006). O autor explica que “[...] todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído” e “[...] um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado” (BACHELARD, 1996, p. 18-19).

O obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático (BACHELARD, 1996) é o tipo de obstáculo bachelardiano em que o obstáculo

[43] A “ruptura” viabilizada pela negação do conhecimento anterior é uma posição bachelardiana que optamos por não dar prioridade nas estratégias da mediação didática durante a pesquisa empírica realizada no GPEB, visto que partimos de pressupostos de ensino e aprendizagem de ciências segundo a proposta de Mortimer (2000), que defende a aprendizagem sobre a adequação dos conceitos a diferentes contextos, o que não necessariamente implica uma completa ruptura com o conhecimento anterior.

teleológico pode ser categorizado (Ribeiro *et al*., 2011; 2015). O obstáculo do conhecimento unitário e pragmático é descrito por Bachelard como uma generalização que recorre a uma explicação unitária, que concebe a natureza como única e há uma constante busca pelo pragmatismo, ou seja, pela utilidade de todos os fatores naturais.

> Não é concebível que a experiência se contradiga ou seja compartimentada. O que é verdadeiro para o grande deve ser verdadeiro para o pequeno, e vice-versa. À minima dualidade, desconfia-se de erro. Essa necessidade de unidade traz uma multidão de falsos problemas. [...] A unidade é, assim realizada muito depressa, a dualidade suprimida num instante (BACHELARD, 1996, p. 107-108).

Alusivo à busca pela utilidade o autor explica que

> O impulso utilitário levará, quase infalivelmente, longe demais. Todo pragmatismo, pelo simples fato de ser um pensamento mutilado, acaba exagerando. O homem não sabe limitar o útil. O útil, por sua valorização, se capitaliza sem medida [...] Encontrar uma utilidade é encontrar uma razão. [...] Procura-se atribuir a todas as minúcias de um fenômeno uma utilidade característica. Se uma utilidade não caracteriza um traço particular, parece que esse aspecto não fica explicado. Para o racionalismo pragmático, um aspecto sem utilidade é irracional (BACHELARD, 1996, p. 114-115).

No obstáculo epistemológico supracitado, se um elemento não é responsável por uma utilidade, esse elemento ainda não foi explicado. Há um ideal de perfeição atribuído aos fenômenos, de forma que a visão se torna reduzida, pois o ideal é valorizado em detrimento da valorização do real, o que impede a compartimentalização de fatores e o entendimento da pluralidade.

> Vemos assim que, se por um lado a unicidade está ligada a uma visão de perfeição e homogeneidade da natureza, por outro lado o aspecto pragmático está ligado à força da indução utilitarista, a tendência a se procurar uma função, um objetivo para se explicar um determinado fenômeno. Assim, de uma forma geral, podemos dizer que este obstáculo é unitário no sentido de unidade dos processos naturais, como construído por uma inteligência suprema, e é pragmático por que todos estes processos têm uma finalidade, um uso, uma utilidade, que em geral é traduzida pela interpretação do homem. Desta forma, podemos afirmar que, com relação ao obstáculo do conhecimento unitário e pragmático, Bachelard mostra que sua influência no estudo de uma ciência leva a uma concepção finalista e, portanto, teleológica dos fenômenos (RIBEIRO *et al*., 2011, p. 3).

Galli e Meinardi (2011) propõem que a teleologia se configura como um obstáculo para o entendimento da seleção natural. É possível observar o quanto a teleologia fundamenta as explicações de alunos de graduação de biologia, nas citações dos autores: (1) o processo evolutivo é direcionado para a produção de certas linhagens ou espécies (como os seres humanos); (2) o processo evolutivo é direcionado para garantir a sobrevivência da espécie; (3) as variações individuais surgem de acordo com necessidades condicionadas pelo ambiente; (4) os estudantes de biologia tendem a assumir que todas as características biológicas têm função; (5) os organismos tendem a perder características que não utilizam; e (6) mutações envolvendo vantagens para a espécie tem mais probabilidade de acontecer.

O entendimento de que há direcionamento para o alcance de certas linhagens ou para a sobrevivência das espécies é incompatível com as contingências que regem fenômenos evolutivos, tanto no que diz respeito ao surgimento de variações, quanto no que diz respeito aos diversos fatores envolvidos nas modificações de proporções gênicas (como seleção natural e deriva genética).

A análise dos apontamentos referentes às formulações dos estudantes de biologia de Galli e Meinardi (2011) fornece justificativa para o acréscimo de uma necessária especificação na proposta de Ribeiro *et al*. (2011; 2015): o obstáculo teleológico não é o maior obstáculo para o conhecimento das ciências biológicas como um todo, mas é o principal obstáculo epistemológico para o conhecimento da evolução biológica sob a perspectiva da Síntese Moderna.

No trabalho de Carmo, Nunes-Neto e El-Hani (2009), os autores defendem a ideia de que distinguir biologia funcional e evolutiva (causas próximas e últimas) é importante tanto para a estruturação do pensamento biológico quanto para o ensino de biologia. A distinção de causa próxima-última, já explorada nesse trabalho, é importante para que se estabeleça o delineamento do obstáculo teleológico aqui defendido. O emprego do pensamento teleológico em causas próximas, que incluem fisiologia, reprodução e embriologia, por exemplo, não se configura como um obstáculo epistemológico. Na verdade, se configura como uma heurística importante que pode contribuir para o ensino e para a aprendizagem ou mesmo para a pesquisa em tais áreas de estudo. Porém, o emprego do pensamento teleológico a

processos evolutivos pode configurar um obstáculo epistemológico, ou o obstáculo teleológico, que pode impedir o conhecimento e a compreensão do modelo darwinista de evolução.

No que diz respeito à caracterização de “obstáculo epistemológico” para o emprego do pensamento teleológico à evolução biológica, alguns autores já exploraram justificativas e delineamentos, como apontamos nesse tópico (GALLI; MEINARDI, 2011; RIBEIRO *et al*., 2011; 2015), mas gostaríamos de acrescentar mais uma caracterização ao pensamento teleológico de tais concepções alternativas: o “obstáculo ontológico”.

Em vista do referencial teórico apresentado, torna-se necessária a aproximação das considerações de Ferrari e Chi (1998) à ideia de que o pensamento teleológico pode configurar um obstáculo epistemológico. Como explicamos anteriormente, o tipo de obstáculo epistemológico bachelardiano que o pensamento teleológico representa é o do “conhecimento unitário e pragmático”, que é caracterizado pela generalização de uma explicação unitária que toma a natureza como única e há uma constante busca pelo pragmatismo nos elementos do mundo, ou seja, uma busca pela utilidade de todos os fatores naturais.

É preciso antes esclarecer que o emprego de teleologia ao pensamento acerca do processo da evolução biológica consiste em duas atribuições ontológicas equivocadas, totalmente atreladas à definição do obstáculo epistemológico do “conhecimento unitário e pragmático”.

No que diz respeito ao tempo, como pontuaram Ferrari e Chi (1998), há uma categoria ontológica denominada “processo” que possui duas subcategorias importantes: “evento” e “equilibração”. O processo de evolução biológica, segundo os autores, é devidamente situado na subcategoria de equilibração, visto que se trata de um processo sem começo e fim delimitados, sem objetivos e sem um estado final. A “equilibração”, portanto, difere do “evento”, pois este último é caracterizado por ter início e fim determinado e ser dirigido a um objetivo explícito.

Assim, defendemos que o pensamento teleológico empregado na evolução biológica é um compromisso ontológico caracterizado por categorizar de forma

equivocada o processo evolutivo como um “evento” e não como um processo de equilibração.

Para realizar uma aproximação, é possível associar o tipo de obstáculo epistemológico que representa o compromisso ontológico referente à categorização equivocada da evolução biológica como um “evento” com a parte “pragmática” do obstáculo epistemológico, visto que no pensamento teleológico associado à evolução biológica entende-se que a evolução tem um termo final e que é direcionada a um objetivo (atendimento de metas e de necessidades que pode ser relacionado ao pragmatismo).

Ferrari e Chi (1998) explicam que é intuitivo pensar qualquer processo como um “evento” porque a maioria das situações vivenciadas por humanos tem o caráter de “evento”, o que pode ser aproximado com a parte “unitária” do obstáculo epistemológico, visto que se trata de um pensamento que tende a generalizar os atributos de um único tipo de situação a todas circunstâncias a serem interpretadas.

Além disso, o outro compromisso ontológico está em atribuir aos seres vivos características dos artefatos (que são projetados e construídos para um fim e, portanto são teleológicos). Ambos (seres vivos e artefatos) estariam categorizados na ontologia de “matéria”, mas estariam em subcategorias distintas: seres vivos e objetos artificiais. Novamente o compromisso ontológico pode ser relacionado com o obstáculo epistemológico que o pensamento teleológico relacionado à evolução biológica representa: há uma tendência em generalizar a caracterização dos artefatos aos seres vivos (obstáculo unitário) e há uma tendência em interpretar os traços dos organismos como previamente projetados e destinados a um fim (obstáculo pragmático).

Em resumo, pode-se afirmar que os compromissos ontológicos referentes ao emprego de teleologia para a interpretação da evolução biológica podem configurar dois tipos de obstáculos ontológicos: um referente à caracterização do tempo evolutivo (evento *versus* equilibração) e outro referente à caracterização da origem dos traços dos seres vivos (artefatos *versus* seres vivos).

Tais compromissos ontológicos, segundo a discussão supracitada, podem ser considerados subjacentes ao que se denomina como “obstáculo teleológico” (GALLI;

MEINARDI, 2011; RIBEIRO ET AL., 2011; 2015), que representa um tipo de obstáculo epistemológico, o obstáculo unitário e pragmático.

Em outras palavras, concordamos que o “obstáculo teleológico” configure um tipo obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático, e, defendemos que a caracterização desse obstáculo possa ser mediada pela descrição minuciosa fornecida pela teoria de Ferrari e Chi (1998) de obstáculos ontológicos.

5 METODOLOGIA

A metodologia tem caráter qualitativo e a obtenção de dados foi viabilizada pela gravação de áudios nos encontros do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia e pela aplicação de um questionário individual escrito. A análise dos dados foi realizada por meio da categorização mediada pela análise de conteúdo (BARDIN, 2013) e pela classificação de concepções dos participantes em zonas de perfil conceitual.

5.1 Pesquisa Qualitativa

Essa pesquisa trata do ensino e aprendizagem da biologia evolutiva e os dados foram constituídos em um grupo de pesquisas com estudantes da graduação de Ciências Biológicas como participantes. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, cujas propriedades passaremos a explorar abaixo.

Na pesquisa qualitativa, para Flick (2009), o exercício de reflexão dos pesquisadores no que se refere à própria pesquisa é parte constituinte da produção de conhecimento. Assim, na pesquisa qualitativa o pesquisador é o principal instrumento (LUDKE; ANDRÉ, 2012). Para Flick (2009), a adequação do método depende do objeto de estudo, o que resulta na ausência de uma unificação teórico metodológica: há uma variedade de abordagens. Diferente da pesquisa quantitativa, os objetos não são reduzidos e fragmentados em compartimentos, mas são analisados na totalidade que os constitui, sendo necessária a inclusão do contexto social e perspectivas de diferentes pontos de vista e práticas de campo.

> Durante muito tempo se acreditou na possibilidade de decompor os fenômenos educacionais em suas variáveis básicas, cujo estudo analítico, e se possível quantitativo, levaria ao conhecimento total desses fenômenos. Com a evolução dos próprios estudos da área da educação, foi-se percebendo que poucos fenômenos nessa área podem ser submetidos a esse tipo de abordagem analítica, pois em educação as coisas acontecem de maneira tão inextricável que fica difícil isolar as variáveis envolvidas e mais ainda apontar claramente quais são as responsáveis por determinado efeito (LUDKE; ANDRÉ,2012, p. 3).

A comunicação do pesquisador é uma parte constituinte da produção do conhecimento, assim como a subjetividade do pesquisador e dos objetos pesquisados (FLICK, 2009).

Há uma tendência em tornar quantitativos os dados qualitativos quando há uma ação de estabelecer proporções e frequências dos dados de pesquisa, sendo que para Flick (2009), a análise da frequência de dados pode viabilizar *insights* que requerem explicações adicionais ou a coleta de mais dados.

Para Bogdan e Biklen (1994), a pesquisa qualitativa contempla cinco características: (1) o ambiente é a fonte dos dados e o investigador é o instrumento principal; (2) a investigação é descritiva (há predominância de palavras e não de números); (3) há interesse pelo processo mais do que pelos resultados ou produtos; (4) a análise é normalmente indutiva (as abstrações são engendradas de acordo com o agrupamento dos dados); e (5) o significado tem muita importância (há preocupação com a perspectiva dos participantes).

Segundo Flick (2009), por meio de narrativas, o pesquisador pode abordar o mundo do sujeito. Nas discussões em grupo, o estudo permite a análise da dinâmica e das interações entre os participantes, que são utilizadas como a fonte central de conhecimento. Um dos objetivos das discussões em grupo, segundo o autor, é a identificação de processos comuns de resolução de problemas. Pode-se introduzir um problema concreto a respeito do qual o grupo deve refletir para obter as melhores alternativas para a resolução. O autor acrescenta que nas discussões em grupo há possibilidade de emprego de imagens e textos que estimulem a discussão e os tópicos que devem ser tratados.

Segundo Ludke e André (2012), a análise dos dados requer que o pesquisador organize todo o material de forma a dividi-lo em partes que serão avaliadas para que sejam encontradas relações e inferências, embora seja comum durante a coleta já ser iniciada a análise. Ao final da coleta, o pesquisador comumente determinou as possíveis direções teóricas do estudo para analisar o material. Para os autores, as repetidas leituras do material resultam em uma impregnação do conteúdo, o que possibilita a divisão do material em elementos que o compõe. Categorias de análise podem ser feitas antes de a análise ser iniciada, mas podem ser modificadas ao final da avaliação dos dados.

Bogdan e Biklen (1994) explicam que as pesquisas, de forma explícita ou implícita, estão apoiadas em uma orientação ou perspectiva teórica, que contribui

para a coerência dos dados, de forma a conferir sentido a eles. Os dados, antes um amontoado arbitrário e pouco sistemático, passa a ter um sentido à luz de uma fundamentação teórica.

5.2 Obtenção de dados no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia

Os dados foram obtidos por meio de discussões no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia de Bauru (GPEB)/São Paulo, Brasil. Iniciado no ano de 2006 sob a coordenação da professora doutora Ana Maria de Andrade Caldeira junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, o GPEB consiste em encontros, ou reuniões, sucedidos na Universidade Estadual Paulista "*Júlio de Mesquita Filho*" (UNESP) de Bauru, nos quais são realizadas pesquisas acerca da epistemologia, didática e formação inicial de graduandos de Ciências Biológicas.

O grupo de pesquisa iniciado ao final do ano de 2006 foi pontuado por uma reunião inicial na qual os estudantes inscritos foram convidados a elencar com quais áreas da biologia tinham mais afinidade e convidados a responder um questionário inicial referente aos níveis de organização dos seres vivos. As primeiras discussões no grupo foram desenvolvidas ao longo de 2007, com graduandos, pós-graduandos e docentes universitários (MEGLHIORATTI *et al*., 2007; MEGLHIORATTI, 2009) e a fundamentação teórica esteve centrada nas relações hierárquicas dos níveis de organização da biologia.

Três níveis hierárquicos de organização do conhecimento biológico foram objeto de estudo inicialmente: ecológico, orgânico e genético-molecular que subsidiaram três pesquisas de doutorado que estavam focadas, cada uma delas em um dos níveis propostos (BRANDO, 2010).

A pesquisa de Fernanda Meglhioratti (2009) estava centrada no conceito de organismo, a pesquisa de Fernanda Brando (2010) estava focada na ecologia como uma área de estudo da ciência, e a pesquisa de Mariana Andrade (2011) tratou do material genético e do conceito de gene. O período de obtenção de dados e de discussões para a produção de tais pesquisas no GPEB corresponde ao intervalo entre 2007 e 2009.

Em 2010, o grupo de pesquisas foi empregado para uma investigação referente ao conceito de interação biológica (MARICATO; CARVALHO; CALDEIRA, 2012) e subsidiou o desenvolvimento da pesquisa de doutorado de Fúlvia Maricato (2012).

No segundo semestre de 2012 o grupo também esteve relacionado com o desenvolvimento de uma pesquisa de doutorado realizada por Thais Benetti de Oliveira (2015) referente ao conceito de evolução biológica. Eu pude frequentar o grupo, pois já cursava a graduação de Ciências Biológicas. Conforme as discussões se desenvolviam, ascendem algumas indicações para perguntas de pesquisa que originaram a minha iniciação científica, também referente à evolução biológica (ver mais em Oliveira, 2015 e em Ceschim, Oliveira e Caldeira, 2014)

Os pesquisadores que atuam no GPEB são estudantes do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência que, fundamentados em discussões da epistemologia e didática da biologia, organizam grupos de graduandos com aproximadamente 10 integrantes. Os graduandos são sujeitos de pesquisas, cujas temáticas estão atreladas à produção de conhecimento que subsidia estratégias didáticas que pressupõem a natureza sistêmica e integrada das ciências biológicas (OLIVEIRA, 2015).

A fundamentação teórica do grupo contempla aspectos filosóficos da biologia, principalmente no que concerne à natureza do conhecimento científico. Há ênfase acerca de como a biologia se caracteriza como uma área de estudo científico particular, acerca da identificação e caracterização do objeto de pesquisa da biologia, acerca de apontamentos de conceitos centrais e unificadores do conhecimento biológico e finalmente, acerca de como as discussões referentes à epistemologia da biologia podem contribuir para o Ensino de Biologia (MEGLHIORATTI *et al*., 2007).

Nesse trabalho, os sujeitos de pesquisa que participaram do GPEB (no período de 2015 a 2016) foram 11 alunos de graduação de Ciências Biológicas (A1-A11) que estavam cursando a disciplina de evolução na graduação e já haviam cursado disciplinas com abordagens evolutivas (como Invertebrados I e II, Vertebrados I e II, Morfologia Vegetal e Sistemática Vegetal). A constituição de

dados se deu pela transcrição de áudios de nove encontros com duração de duas horas cada e um questionário individual final. O início dos encontros ocorreu no segundo semestre de 2015 e foi concluído no primeiro semestre de 2016.

Nos encontros iniciais, as discussões eram mediadas pela leitura ou exposição de textos, vídeos ou imagens de fenômenos biológicos (reais ou hipotéticos) que foram selecionados previamente e por questionamentos a respeito de conceitos básicos da área de estudo da evolução biológica. O intuito foi o de realizar um levantamento de concepções e obstáculos ontológicos e epistemológicos. Os participantes foram estimulados a expressar livremente o próprio entendimento dos termos e fenômenos evolutivos para que posteriormente fosse possível a problematização.

As sessões de problematização constituíram as fases posteriores do grupo, nas quais novos conceitos eram introduzidos nas discussões. Os conceitos eram inseridos ao grupo por meio da sugestão de leituras prévia, por meio de leitura nos encontros, por meio de *slides* e de vídeos. Os estudos de tais conteúdos permitiram o aprofundamento tanto na discussão do processo evolutivo, quanto na discussão contemporânea da teleologia na biologia.

Os alunos eram convidados a expressar as próprias compreensões dos trechos dos textos e vídeos para que fosse possível a problematização da compatibilidade entre as ideias prévias expressas pelos participantes e o conteúdo dos textos. Ou seja, os contrapontos entre as declarações dos alunos a respeito da evolução biológica e o conteúdo dos textos lidos nos encontros eram identificados e problematizados.

Por meio da interpretação dos áudios transcritos e das respostas do questionário final pudemos realizar uma análise do pensamento que era inicialmente consolidado entre os graduandos e das concepções posteriores expressas pelos estudantes ao longo dos encontros. Assim, com a finalidade de identificar as concepções evolutivas dos alunos, durante os encontros do GPEB foram solicitadas declarações verbais do entendimento dos participantes tanto no que diz respeito a situações em que os graduandos conceituavam termos, como em situações em que os graduandos forneciam uma explicação evolutiva para um determinado fenômeno.

Com a finalidade de promover um entendimento mais plural do processo evolutivo e de promover a capacidade de vigilância epistemológica – termo aqui empregado com o sentido da competência metacognitiva de identificar nos próprios pensamentos as formulações que são incompatíveis com o modelo científico – os textos selecionados para leitura no grupo foram textos que introduziam conceitos da evo-devo e que tratavam das discussões contemporâneas alusivas ao emprego de teleologia na biologia.

Os vídeos exibidos tratavam do entendimento de evolução pelo público em geral e de fenômenos biológicos que deveriam ser explicados pelos participantes. A sequência metodológica realizada no grupo está explicitada a seguir e as mudanças de pensamentos expressos pelos alunos serão tratadas nos resultados desse trabalho. As declarações dos alunos, tanto obtidas na transcrição dos áudios como nas respostas do questionário foram categorizadas em zonas de perfil conceitual e em categorias de concepções teleológicas, tratadas em tópicos posteriores desse trabalho.

5.3 Etapas da pesquisa

Os nove encontros coletivos podem ser subdivididos em três grandes etapas: (1) levantamento de concepções prévias, leitura e discussão acerca dos conceitos básicos da biologia evolutiva (primeiro ao terceiro encontro); (2) leitura e discussão referentes aos conteúdos da área de estudo da evo-devo (quarto encontro); (3) leitura e discussão relativas ao emprego da teleologia na biologia (quinto ao último encontro).

5.3.1 Primeira Etapa

O grupo foi iniciado com a leitura de parte do primeiro capítulo do livro *Biologia Evolutiva* de Futuyma (2009). Nesse capítulo, o autor aponta as semelhanças entre organismos com parentesco evolutivo próximo e distante para promover a discussão de características que são compartilhadas por diferentes grupos. No texto, características de organismos são descritas em termos fisiológicos com o intuito de mostrar como algumas estruturas desempenham papéis vitais ao organismo. O texto também trata de outros tipos de estruturas, denominadas pelo

autor como “estranhas, inúteis ou até mesmo mal elaboradas”, como o apêndice humano e os mamilos dos homens.

Essa introdução permitiu discussões do que Reece *et al*. (2015) chama de “imperfeições” dos seres vivos, o que se explica pela ideia de que “a evolução não consegue projetar organismos perfeitos” (*ibid*., p. 498). Para os autores, se pode observar “evidências de evolução em muitos organismos imperfeitos que ela produz” (*ibid*., p. 498). A respeito de tais “imperfeições”, o texto do primeiro capítulo do livro *Biologia Evolutiva* (supracitado) apontava as seguintes características: (1) flores de dente-de-leão que apresentam pétalas atrativas para polinizadores, mas têm pólen estéril e desenvolvem sementes sem fertilização; (2) apêndice humano; (3) mamilo em homens; e (4) comunicação entre sistema respiratório e digestório que pode permitir uma asfixia por comida.

Selecionamos esse trecho do capítulo com o intuito de levantar concepções dos alunos acerca da interpretação de tais características que não exibem uma vantagem aparente para o organismo que a possui. Com isso, seria possível perceber se os alunos insistiriam em uma visão pragmática de tais características, ao tentar atribuir uma função para elas ou se empregariam tais características como evidências de que a evolução não conduz necessariamente à perfeição. Entender o processo evolutivo e as adaptações como um caminho progressivo que origina organismos maximamente adaptados é uma concepção já constatada em formulações de alunos de graduação em Ciências Biológicas (ver Oliveira e Caldeira, 2013).

Em seguida, discutimos o exemplo apresentado por Futuyma (2009) referente à planta boca-de-leão, cujas pétalas vistosas atraem abelhas. A disposição das peças florais dessa planta só permite a retirada de néctar quando a abelha está dentro da cavidade encerrada pelas pétalas, por onde necessariamente a abelha, ao passar, é impregnada por grãos de pólen. Casos como esse, que são caracterizados por uma complementaridade organismo-ambiente foram empregados nos encontros várias vezes com o intuito de solicitar explicações aos participantes. As formulações elaboradas pelos alunos para engendrar explicações posteriormente foram analisadas, principalmente no que diz respeito à presença de caráter teleológico.

Muitos alunos empregaram narrativas de seleção natural, porém alguns empregavam formulações transformacionais. Nesse ponto, foi necessária uma intervenção para diferenciar a perspectiva selecionista da perspectiva transformacional da evolução. Assim, a perspectiva selecionista foi descrita em termos de pensamento populacional, variabilidade e seleção natural.

Para ilustrar o pensamento variacional, o exemplo da aranha viúva negra foi exposto para os alunos. Segundo Meyer e El-Hani (2005), fêmeas da aranha *Latrodectus hasselti* se alimentam do macho com o qual estão copulando e o canibalismo da fêmea é permitido pelos machos. Esse exemplo é um caso moroso de se elucidar por princípios de seleção natural. Os autores explicam que há duas hipóteses: (a) a fêmea possui mais fecundidade ao apresentar esse comportamento, o que produz mais descendentes e (b) machos que se deixam canibalizar tem mais descendentes que os demais. Porém, a fêmea pouco se beneficia ao se alimentar do macho porque ele é muito pequeno. Após experimentos que analisavam ovos fecundados de machos que se deixavam canibalizar e de machos que resistiam ao canibalismo da fêmea, ficou evidente que machos que se deixam canibalizar fecundam aproximadamente o dobro de ovos. A explicação para essa diferença está na constatação de que a cópula de machos que são passivos ao canibalismo da fêmea tem uma duração muito grande (se comparada à cópula em que o macho se defende), porque a fêmea está “distraída”, alimentado-se do macho. A hipótese seria que, se o comportamento de ser passivo ao canibalismo é genético, os descendentes também irão exibir esse comportamento. Também foi constatado em pesquisas que o macho sofre perdas de estruturas necessárias para a fertilização e pode não sobreviver após tais perdas. Sendo assim, a primeira fertilização na qual determinado macho participaria seria também a sua última, independente do canibalismo da fêmea. Torna-se, nesse cenário, muito mais vantajoso ao macho produzir muitos ovos nessa única fertilização, sendo passivo ao canibalismo.

Por meio das ações supracitadas, tivemos o intuito de introduzir os conceitos de reprodução diferencial, variação e hereditariedade para contextualizar as discussões em narrativas de seleção natural. Ao mesmo tempo, por meio das falas dos participantes, foi possível levantar as concepções dos alunos diante de situações que deveriam ser explicadas em termos evolutivos.

Em um segundo encontro coletivo, discutimos as implicações da existência de genes pleiotrópicos na evolução. O intuito de introduzir o conceito da pleiotropia à discussão é fornecer uma explicação alternativa para a interpretação da presença de estruturas exibidas em organismos, pois “a maioria dos genes tem efeitos fenotípicos múltiplos” (REECE *et al*., 2015, p. 278), o que pode acarretar na perpetuação de caracteres não selecionados diretamente pela seleção natural.

Discutimos o significado de órgãos vestigiais, resgatando elementos da discussão anterior referente às “imperfeições” dos seres vivos, um contexto que permitiu a discussão da seleção natural ter diferentes tipos de resultados: por vezes “só os melhores indivíduos sobrevivem; todos os outros são eliminados”, mas em outros momentos “apenas os piores são descartados e a maioria dos indivíduos sobrevive” (MAYR, 2005, p. 150). Tendo constatado algumas dificuldades expressas pelos alunos no entendimento das propriedades da seleção natural, tal discussão foi necessária para que os alunos pudessem fundamentar melhor as próprias asserções. Utilizamos a explicação de Mayr que defende que “apesar da eliminação, sempre haverá variação abundante, constituída não só daqueles indivíduos verdadeiramente excelentes, mas também, de fato, de todos aqueles que não são tão ruins a ponto de precisarem ser removidos por eliminação” (MAYR, 2005, p. 152).

As “imperfeições” citadas, a pleiotropia e a concepção de Mayr acerca da seleção natural (supracitada no parágrafo anterior) foram empregadas com o intuito de iniciar a exposição de evidências da ausência de teleologia na biologia evolutiva. Tais elementos são evidências, uma vez que os organismos, ao apresentarem as chamadas “imperfeições” e ao apresentarem características que são expressas por genes pleiotrópicos (que podem ter sido selecionadas positivamente devido a outros efeitos fenotípicos de tais genes), evidenciam um processo evolutivo desprovido de direção, finalidade, propósito ou planejamento. A defesa de que a seleção natural não é capaz de selecionar positivamente somente os melhores (pois em alguns casos pode não selecionar negativamente todos os que não sejam excelentes, como propõe Mayr) também evidencia que um dos mecanismos mais corroborados da teoria evolutiva (a seleção natural) não é capaz de engendrar resultados “perfeitos” na distribuição dos organismos nas populações.

Para ilustrar a importância da perspectiva proposta por Mayr (2005) à respeito da seleção natural, discutimos a comunicação entre sistema respiratório e digestório nos humanos (caso citado anteriormente como uma das “imperfeições” no livro de Futuyma). Cenários hipotéticos foram propostos para que os participantes elaborassem explicações e imaginassem as consequências de variações mais seguras e menos seguras de tal comunicação sistema respiratório-digestório. O intuito nesse momento do grupo foi ilustrar como características que muitas vezes exibem um funcionamento falho ou deficiente podem estar presentes em muitos organismos (também com a finalidade de evidenciar a ausência de teleologia e condução à perfeição na evolução).

A discussão passou a estar centrada nas contingências do processo evolutivo, com destaque para o grande número de variáveis envolvidas em narrativas históricas evolutivas. Tal pensamento é importante para que seja possível a percepção de que o acaso exerce influência sobre os resultados evolutivos.

Em seguida, discutimos os efeitos evolutivos da seleção sexual e o momento esteve propício para a introdução da ideia de que características escolhidas pelo parceiro por meio da seleção sexual podem não ser muito vantajosas em termos de sobrevivência do próprio indivíduo. Discutimos a respeito da importância de um organismo sobreviver até a idade reprodutiva no contexto da seleção sexual e acerca da fixação de características onerosas ou desvantajosas nesse processo.

Foram discutidos os casos de seleção sexual (1) do pavão, que tem a escolha da fêmea influenciada pela exibição da aparência e comportamento do macho, resultando em mais descendentes com a característica escolhida pela fêmea; (2) de anfíbios que atraem a fêmea com chamados longos ou curtos, sendo que a fêmea normalmente prefere o chamado mais longo (CAMPBELL; REECE, 2010) e (3) de peixes barrigudinhos que atraem a fêmea por exibir aparência colorida e brilhante (*ibid*.). Para esses casos, separadamente, tratamos das consequências da posse de características extravagantes tanto para a sobrevivência, como para a reprodução de uma população que sofre seleção sexual, pois ao mesmo tempo em que determinada característica auxilia o macho a conseguir uma parceira, a mesma característica pode aumentar o risco de predação. Analisamos cenários hipotéticos

para o caso do pavão e dos anfíbios e um experimento real realizado com os peixes barrigudinhos.

O estudo da distribuição de características dos machos de barrigudinhos (*Poecilia reticulata*) consultado em Campbell e Reece (2010) foi apresentado para os alunos, com fotos projetadas em apresentação de *slides*. Os machos, quando coloridos e brilhantes, tem mais sucesso reprodutivo. Porém, tais características também atraem predadores. Para investigar como a relação de atrair parceiros e predadores pode afetar a distribuição de coloração em machos de barrigudinhos, os pesquisadores analisaram a ação de dois tipos de predadores: (a) os *killifishs*, peixes predadores que preferem barrigudinhos jovens (ainda sem coloração definida) e (b) as “joaninhas”, peixes predadores que preferem barrigudinhos adultos com coloração brilhante. Em cada uma das situações, o resultado foi diferente. Quando predados por *killifish*, a população de machos era constituída predominantemente por machos com cores brilhantes (porque a predação era aleatória e, quando adultos, os machos brilhantes tinham mais descendentes). No caso da predação por peixes “joaninhas”, os barrigudinhos machos exibiam cores discretas, uma vez que a maioria dos adultos coloridos e brilhantes eram predados. Assim, foram discutidos os possíveis resultados na distribuição de fenótipos de uma população que são engendrados pela contraposição entre o risco de predação e o sucesso reprodutivo que são conferidos por determinada característica do macho em questão.

Ao introduzir o assunto “seleção sexual”, mais uma vez selecionamos um ponto a ser discutido no grupo com o intuito de evidenciar características vivas que tem uma história evolutiva sem teleologia, que apresenta algumas deficiências e limitações (como a cauda dispendiosa do pavão que é selecionada continuamente pela preferência da fêmea, mas pode prejudicar o macho que a possui em uma situação de fuga de um predador, por exemplo).

Também solicitamos que os alunos conceituassem a evolução biológica. A finalidade dessa ação foi o levantamento das concepções que os alunos traziam, para que fosse possível a identificação de possíveis entendimentos teleológicos do processo evolutivo. Nesse momento também discutimos o significado das mutações

herdáveis, que devido a algumas dificuldades expressas por alguns alunos, precisaram ser conceituadas e descritas.

Foram diferenciadas as mutações herdáveis (aquelas que ocorrem no DNA de células germinativas) e não herdáveis (aquelas que ocorrem em células somáticas), o que permite a discussão acerca dos caracteres adquiridos. Em muitos pontos das discussões os participantes introduziram explanações equivocadas apoiadas direta ou indiretamente na herança de caracteres adquiridos. Optamos por esclarecer que embora alguns mecanismos de herança extra-genéticos sejam evidenciados em algumas pesquisas, os casos citados pelos participantes não se encaixavam em tais casos estudados. Ou seja, as situações fundamentadas em caracteres adquiridos que foram defendidas pelos alunos não eram plausíveis segundo o modelo científico vigente de herança genética ou epigenética, pois os estudantes atribuíam teleologia à herança de caracteres adquiridos (características surgem conforme a necessidade e são transmitidas aos descendentes).

Nesses momentos, realizávamos intervenções para que se fosse descrito (ou relembrado) o modelo científico de herança da Síntese Moderna. Foi preciso enfatizar várias vezes como ocorre a hereditariedade das mutações, que só é possível em organismos multicelulares quando a mutação está presente em células germinativas.

Ao final desse segundo encontro, um trecho de um documentário foi projetado para que os alunos pudessem analisar argumentos de opinião pública acerca da aceitação da teoria evolutiva. O documentário intitulado "*Evolution versus God: Shaking the Foundations of Faith*"[44] foi dirigido por Ray Comfort com a finalidade de combater argumentos evolutivos. Entrevistas eram realizadas com universitários e professores de universidades dos Estados Unidos. Embora o filme tratasse dos contrapontos entre o modelo científico de entendimento da diversidade dos seres vivos com o fixismo criacionista, não foi alvo de debate no grupo tal contraponto, pois o trecho selecionado para a exibição somente tratava de aspectos evolutivos.

[44] **EVOLUTION VERSUS GOD: Shaking the Foundations of Faith**. Direção: Both Ray Comfort. Produção: Emeal Zwayne. Filme, 38'26". Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=U0u3-2CGOMQ>. Acesso em dezembro de 2015.

O documentário tende a ridicularizar argumentos e evidências da evolução para tentar defender que é preciso “acreditar” em evolução, pois não há evidências consistentes. O primeiro argumento expresso é a ausência de evidências observáveis da evolução ocorrendo atualmente. O segundo é a impossibilidade de observação de uma “espécie ser transformada em outra”. Os argumentos dos entrevistados no documentário eram propositalmente recortados para que fosse possível tender para a ideia de que não há evidências suficientes para defender a existência de um processo evolutivo.

Os participantes do GPEB foram convidados a citar evidências observáveis de que a evolução ocorre no momento atual (e não só há milhões de anos). Também foram convidados a esclarecer o entendimento equivocado do vídeo à respeito de não ser possível a observação de uma espécie originando outra espécie. O intuito dessa atividade de análise do filme foi levantar as concepções dos alunos acerca de tais aspectos ao permitir a contra-argumentação.

Na terceira reunião do grupo, iniciamos com a exibição de uma animação a respeito da origem de grandes grupos de animais. A animação mostra uma sequência de modificações morfológicas externas de animais (desde um protozoário até um primata). A sequência de modificações não necessariamente representa o processo evolutivo, mas sintetiza os grandes marcos de mudanças entre um grupo e outro. Porém, empregamos a animação para estimular os alunos a identificar possíveis erros de entendimento que esse tipo de representação pode causar. Por meio da análise que os alunos realizariam, poderíamos levantar concepções relativas a um possível entendimento de que a evolução atua para a melhora e para o progresso. A animação poderia ser facilmente entendida de tal forma, portanto, avaliamos se os alunos identificavam ou não essa deficiência da representação.

Para dar continuidade às discussões relativas à seleção natural, os alunos foram solicitados a explicar a resistência de bactérias a antibióticos e a resistência de pragas a agrotóxicos. Nesse momento pudemos introduzir a explicação de Mayr referente à evolução por seleção natural ter duas etapas: a fase do surgimento de variações e a fase de seleção natural propriamente dita.

> Na primeira etapa, que consiste em todos os processos que levam à produção de um novo zigoto, são produzidas novas variações

> genéticas. Esse processo é estritamente aleatório, exceto pelo fato de que existem limites para o grau de variação que determinado gene pode sofrer. Na segunda etapa, a de seleção (eliminação), a "excelência do novo indivíduo é constantemente testada, do estágio larval (embriônico) à vida adulta e à reprodução (MAYR, 2009, p. 149).

Dividir a evolução por seleção natural em duas etapas, sendo a primeira prioritariamente dependente do acaso e a segunda parcialmente dependente é uma distinção empregada por outros autores além de Mayr (2005; 2009), como Dawkins (2001), Monod (2006) e Futuyma (2009). Essa distinção tem importância fulcral dentro do quadro teórico do grupo, pois a defesa da ausência de teleologia na biologia evolutiva precisa estar ancorada na defesa da aleatoriedade do surgimento das variações. Também esse argumento é importante quando se discute a rejeição da neoteleologia forte[45] (um tópico que foi discutido nos últimos encontros). Assim, nesse momento da solicitação de explicações para a resistência de organismos a produtos artificiais, enfatizamos a diferença entre as duas etapas da evolução por seleção natural, assim como propôs Mayr (2009).

> A diferença fundamental entre a primeira e a segunda etapas da seleção natural já deve estar clara. Na primeira, da produção da variação genética, é tudo uma questão do acaso, que desempenha um papel muito menor na segunda etapa, a da sobrevivência e reprodução, na qual a "sobrevivência dos mais aptos" se baseia em grande parte em características geneticamente determinadas (MAYR, 2009, p. 150).

Também destacamos pontos em que a evolução por seleção natural difere das premissas da teoria transformacional da evolução[46] (segundo a proposta de Caponi, 2005) e a importância das variações como um pré-requisito indispensável para a seleção natural atuar (MAYR, 2009).

Após discutir tais aspectos da evolução por seleção natural, um vídeo a respeito da jararaca ilhoa da Ilha de Queimada Grande (uma ilha que fica a alguns quilômetros da costa de São Paulo/Brasil) intitulado "Jararaca ilhoa no Bom Dia

[45] Neoteleologia forte é empregada segundo a proposta de Robert Cummins (2002).

[46] Vale ressaltar que há diferenças entre a perspectiva seletiva e a perspectiva transformacional da evolução, como destacou Caponi (2005), como os pressupostos essencialistas da teoria transformacional que são rejeitados na perspectiva seletiva. Na discussão de Caponi (2011), apenas o aspecto relacionado à centralização no interesse da forma orgânica da teoria transformacional é compatibilizado com a perspectiva seletiva.

Brasil (2008)"[47] foi exibido. A jararaca ilhoa da espécie *Bothrops insularis* tem hábito arborícola e se alimenta de aves migratórias, visto que não há muitos mamíferos na ilha. Expele um veneno muito poderoso com ação rápida, capaz de matar a presa quando ainda está ao alcance (GRAZZIOTIN *et al*., 2006).

Fizemos algumas proposições hipotéticas – visto que a diversificação das espécies de jararacas da Mata Atlântica brasileira ainda não tem um modelo único que a explica, segundo Grazziotin *et al*. (2006) – e pedimos para que os alunos elaborassem narrativas hipotéticas para tentar explicar as situações propostas. Consideramos hipoteticamente um ancestral de veneno de ação lenta que supostamente originou uma subpopulação continental e outra insular. A subpopulação continental manteve o veneno de ação lenta, enquanto a subpopulação insular passou a exibir um veneno de ação rápida, capaz de matar aves antes que elas pudessem voar (o que implicaria perda da refeição para as jararacas insulares). Gostaríamos de avaliar, por meio desta solicitação aos alunos, se eles formulavam narrativas de caráter selecionista – segundo proposta de Caponi (2005) – empregando adequadamente os conceitos evolutivos discutidos.

Para não restringir o pensamento evolutivo às narrativas selecionistas, passamos a discutir perspectivas alternativas. Casos de deriva genética foram explorados, bem como a caracterização das propriedades da evolução por deriva genética.

Foi apresentado o exemplo da Ilha de Lençóis (localizada a aproximadamente 30 quilômetros de Maranhão/Brasil), na qual há uma proporção de albinos muito acima da proporção de outras populações humanas. Trata-se de um caso muito peculiar que configura um exemplo de deriva genética (FREIRE-MAIA, 2012), pois a proporção de albinos da ilha é explicada por efeito do fundador: famílias de albinos colonizaram a ilha e tiveram descendentes com reprodução entre parentes, embora atualmente também moradores com pigmentação normal habitem a ilha. A ilha oferece muita incidência solar e os albinos recebem diretamente a ação do sol principalmente sofrendo de câncer de pele. Assim, o fato de a proporção de albinos

[47] **JARARACA ILHOA no Bom Dia Brasil (2008).** Diretores: Ali Kamel e Silvia Faria. Jornal Bom Dia Brasil, 3'26". Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=af0qZ1nwxEs>. Acesso em dezembro de 2015.

ser maior nessa ilha não pode ser explicada por seleção natural, visto que não há benefício para um albino nesse ambiente. O caso foi apresentado aos alunos com trechos do vídeo intitulado “Filhos da Lua (Albinos da Ilha de Lençóis)”[48].

Após a exibição do vídeo, os alunos foram convidados a tentar explicar o fato de a proporção de albinos ser tão grande na ilha (se comparada a outras localidades). A finalidade dessa discussão era a de enfatizar principalmente duas perspectivas: (1) a de que a evolução de alguns grupos nem sempre acontece por seleção natural e (2) a de que a evolução nem sempre conduz às melhores condições de vida – novamente com o intuito de evidenciar a ausência de teleologia na evolução.

Para encerrar o terceiro encontro e sintetizar as ideias, os alunos foram convidados a apontar qual a relação entre seleção natural e evolução, para que fosse possível analisar se os alunos eram capazes de pensar em evolução por outros mecanismos diferentes de seleção natural.

Parte do Capítulo 13 do livro *Biologia Evolutiva* (FUTUYMA, 2009), intitulado “A Teoria da Seleção Natural” foi lido e discutido. Assim, enfatizamos que a seleção natural não é sinônima de evolução, retomamos a ideia de que a seleção natural ocorre em duas etapas – variação e modificação no padrão da variação (*ibid*., p. 365), relembramos a importância da deriva genética para a explicação de algumas distribuições populacionais e conceituamos seleção natural como “a variação no sucesso reprodutivo médio” em um dado contexto (*ibid*., p. 365).

Em resumo, na primeira etapa, os conceitos evolutivos preconizados na Síntese Moderna foram referenciados nas leituras, no contexto dos vídeos e interpretações de exemplos biológicos hipotéticos e reais.

5.3.2 Segunda Etapa

Após a introdução de conceitos provenientes da Síntese Moderna, os conceitos da evo-devo, ou biologia evolutiva do desenvolvimento, passaram a ser alvo de discussão nos encontros do grupo. Antes do encontro que será descrito a

[48] **FILHOS DA LUA (Albinos da Ilha de Lençóis)**. Vídeo 11'40". Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=TgIQz0wyb0M>. Acesso em dezembro de 2015.

seguir, os alunos haviam realizado a leitura do artigo *A evolução da teoria darwiniana* de El-Hani e Meyer (2009).

Iniciamos a discussão questionando os participantes acerca de uma suposta condução das adaptações à perfeição, novamente fazendo alusão ao tema discutido em Oliveira e Caldeira (2013). A partir dessa discussão pretendíamos atribuir aos fatores embriológicos parte da responsabilidade concernente aos processos sucessivos de seleção não culminarem em “adaptação perfeita”.

A ênfase da afirmação de que a seleção natural não modela organismos perfeitos é feita por autores como Campbell e Reece (2010), Reece (2015), Mayr (2008; 2009), e Meyer e El-Hani (2005). Como propõe Campbell e Reece (2010, p. 484), “a natureza está repleta de exemplos de organismos não idealmente ‘projetados’ para os seus estilos de vida”.

Ao propor a discussão relativa à seleção natural atuar somente sobre um repertório de variações pré-existentes, visávamos introduzir a importância das implicações embriológicas sobre a evolução e sublinhar a defesa de que novos alelos que conferem vantagem aos organismos em um dado contexto não surgem por necessidade. Os prós e contras das adaptações também foram discutidos com o intuito de introduzir a ideia de que “podemos observar evidências de evolução em muitos organismos imperfeitos que ela produz” (CAMPBELL; REECE, 2010, p. 484).

Discutimos casos como o de focas que, em rochas, não são capazes de caminhar bem devido à modificação de seus membros em nadadeiras, que embora permitam a natação, dificultam a locomoção em terra firme. Os seres humanos também exibem tais dualidades nas características morfológicas: a agilidade de nossos membros flexíveis e preênseis tornou a estrutura esquelética e articular mais vulnerável a rompimentos e deslocamentos (CAMPBELL; REECE, 2010).

Para tratar das restrições às mudanças evolutivas, utilizamos a literatura de Meyer e El-Hani (2005) e propusemos a leitura de um tópico do capítulo *Debates atuais na biologia evolutiva*, intitulado “A biologia do desenvolvimento e as restrições ao processo evolutivo”.

A leitura deveria propiciar a discussão das três principais etapas do desenvolvimento embriológico: a primeira e a última etapa permitem várias

alterações (mais flexibilidade), mas a etapa intermediária impõe pouca tolerância às mudanças, devido à intensa comunicação entre grupos de células, conforme o Quadro 3 que foi exibido no GPEB.

Quadro 3 - As três principais etapas do desenvolvimento embriológico, segundo Meyer e El-Hani (2005)

Primeira Etapa	**Segunda Etapa**	**Terceira Etapa**
O embrião sofre alterações em níveis variáveis, segundo a espécie. São muitas as diferenças entre embriões nesse estágio, quando espécies próximas são comparadas. Há pouca diferenciação celular e pouca complexidade nas interações de células, o que indica que uma célula não afeta muito o comportamento da outra.	Na etapa intermediária, as espécies apresentam embriões muito semelhantes, o que aponta para uma maior restrição a modificações neste momento. Poucas mudanças são toleradas devido à intensa comunicação entre conjunto de células que serão tecidos e órgãos.	O embrião já está subdividido em regiões independentes que podem sofrer alterações sem afetar outras regiões. Embriões de espécies distintas nessa fase apresentam diferenças significativas.

Fonte: elaborado pela autora

Os alunos também foram convidados a discutir o significado da questão proposta por Futuyma (2009, p. 651): “uma espécie de peixe pode variar no número de escamas ao longo do corpo, mas não no número de par de olhos”, considerando um organismo hipotético que tem a formação dos olhos integrada com a formação de células cardíacas. Também foram solicitadas explicações para a ausência de seis pernas nos vertebrados por seleção natural e pela perspectiva das restrições embriológicas – uma discussão tratada em Meyer e El-Hani (2005).

Também discutimos um exemplo de Mayr (2011) acerca de estruturas vestigiais permitirem a interpretação da ação concomitante da seleção natural e das restrições embriológicas: pode-se explicar a presença de um caráter vestigial que não foi eliminado devido a outras funções dos genes que controlam sua existência. Se esse gene controla o surgimento de mais de uma estrutura (perspectiva embriológica), e se uma dessas estruturas representa alguma vantagem ao organismo que a possui (perspectiva da seleção natural), o gene pode ser selecionado positivamente.

Tratamos do conceito de gene *Hox* e o conceito do *kit* de ferramentas dos genes reguladores do desenvolvimento por meio da leitura de trechos do livro de Carroll (2006) e pelo resgate de trechos da leitura prévia realizada pelos alunos (o artigo de Meyer e El-Hani, 2009). Com o intuito de ressaltar a “bricolagem” gênica,

típica do processo evolutivo, analisamos no grupo o exemplo presente no artigo previamente lido que trata da reutilização do gene *Hoxc6.* Esse gene *Hox* viabiliza, segundo os padrões de expressão determinados pela regulação espaço-temporal, diferentes tipos de pescoço (ou ausência dele) em gansos, camundongos e cobras.

> Estudos do desenvolvimento dos vertebrados revelaram que há um gene (chamado de *Hoxc6*), que é expresso na coluna vertebral. A fronteira de sua expressão na coluna sinaliza onde deverá ocorrer a transição entre vértebras cervicais e torácicas. Portanto, a origem de um plano corporal com um pescoço mais longo ou curto pode ser produzida pelo deslocamento da região em que o gene *Hoxc6* é expresso. As cobras representam um caso extremo: a região de expressão do *Hoxc6* foi tão deslocada anteriormente (em direção à cabeça) que nem há formação de vértebras cervicais: seu corpo longo resulta de perda do pescoço e aumento do tórax. É importante notar que o gene *Hoxc6* é muito semelhante em cobras e gansos. O que muda é a região em que ele é expresso e isso ocorreu porque os interruptores que o regulam mudaram ao longo da evolução. Em cobras, o interruptor só é acionado nas vértebras perto da cabeça. Já em gansos, ele é expresso longe da cabeça e o pescoço se estende até a 22ª vértebra (MEYER; EL-HANI, 2009, p. 3).

Em seguida, resgatamos a analogia proposta no artigo que os alunos leram antes do encontro acerca da relação entre seleção natural e evo-devo no que diz respeito à distribuição de características entre os seres vivos (MEYER; EL-HANI, 2009): os autores propõem que há uma torneira por onde passam esferas de diferentes diâmetros. A torneira pode estar dotada de peneira ou não. A torneira, que ilustra a fonte de variação, pode proceder esferas sem a presença da permeabilidade de uma peneira (que ilustra a seleção natural), mas a torneira pode estar totalmente aberta ou parcialmente fechada (o que ilustra as restrições embriológicas à mudança). Quando a torneira se encontra parcialmente fechada e não há peneira, a distribuição de esferas é determinada somente pela torneira. Porém, quando a torneira está totalmente aberta e há peneira, a distribuição é determinada pela peneira. Quando a torneira está parcialmente fechada e há peneira, a distribuição é decorrente de ambos: fechamento da torneira e presença de peneira.

> É evidente que, nesse caso, tanto a torneira quanto a peneira explicam a distribuição. Nessa situação, há restrições ao processo evolutivo e a distribuição das características variantes na população é enviesada por elas. Então, a direção da mudança na distribuição de características da população, por exemplo, de sua evolução, é influenciada tanto pela seleção quanto pelas características dos

> processos de desenvolvimento, que resultam em restrições (MEYER; EL-HANI, 2009, p. 3).

Pedimos para que os alunos fizessem proposições de interpretação da analogia do artigo, para que fosse possível a obtenção de indicadores de que os alunos compreenderam a relação entre seleção natural e restrições impostas pelo desenvolvimento.

Ao final do encontro, tratamos das mutações que podem ocorrer nos genes reguladores do desenvolvimento e de possíveis implicações de tais mutações. É importante introduzir as mutações de genes reguladores como uma fonte de variação, pois há autores como Carroll (2006), que apontam a variação de genes de desenvolvimento como uma fundamentação para a defesa de saltos evolutivos na evolução.

5.3.3 Terceira Etapa

Na última etapa dos encontros do GPEB, a finalidade dirigente foi a de estimular a promoção da consciência das próprias formulações, ou seja, pretendia-se propiciar a competência da metacognição e de vigilância epistemológica que permitissem aos alunos o reconhecimento da ambiguidade das próprias formulações e a escolha de novas conformações de formulações mais adequadas e compatíveis com o modelo científico – como propõem Galli e Meinardi (2011). O intuito foi o de suscitar a identificação de formulações teleológicas comumente mobilizadas no próprio linguajar dos participantes por meio da fundamentação teórica proveniente da leitura de textos referentes a algumas perspectivas do *status* da teleologia na biologia.

O primeiro texto introduzido ao grupo foi o capítulo “Teleologia” do livro *Biologia, ciência única* de Mayr (2005), no qual o termo “teleologia” é conceituado e o contexto histórico do emprego de formulações teleológicas é apresentado. O tópico “categorias de teleologia” foi detalhadamente explorado com os graduandos que puderam discutir a adequação do quadro teórico proposto por Mayr.

Com o respaldo do estudo das categorias e conceitos de Mayr referentes ao emprego do pensamento teleológico, pudemos discutir no grupo quais empregos de teleologia seriam adequados na biologia e na natureza em geral. Questionamos se

os graduandos já haviam percebido uso indevido de teleologia na categoria de teleologia cósmica ou para características adaptativas e fizemos proposições reais e hipotéticas de fenômenos biológicos solicitando explicações, para que pudéssemos obter indicadores do posicionamento dos alunos a respeito do uso do pensamento teleológico após a leitura do texto.

Frequentemente era necessário recorrer à distinção de Mayr entre causas próximas e últimas quando os alunos expressavam dificuldade em estruturar declarações explicativas para fenômenos biológicos tais como a polinização, migração e construção de um ninho. Também foi necessária a recorrência à distinção entre comportamento inato e aprendido. O comportamento inato é aquele que apresenta uma distribuição praticamente idêntica entre os indivíduos de uma população (independe de diferenças internas ou externas), enquanto a aprendizagem permite a modificação comportamental por meio de experiências vivenciadas (CAMPBELL; REECE, 2010).

Quando se discute o emprego da teleologia na biologia, é importante diferenciar o comportamento inato da aprendizagem e também é importante discriminar a cognição, ou seja, o conhecimento viabilizado por consciência, raciocínio, julgamento e memorização (CAMPBELL; REECE, 2010). Tais distinções são necessárias para os debates referentes à teleologia, visto que o comportamento proposital de organismos pensantes é indubitavelmente um comportamento teleológico.

A generalização do comportamento proposital para o entendimento de comportamentos inatos, por exemplo, pode ser um equívoco que ampara o emprego indevido da teleologia na biologia. Assim, com a finalidade de enfatizar o caráter contingente de alguns comportamentos (ou seja, a ausência de propósito visualizada no comportamento animal), foi introduzido à discussão o exemplo dos insetos que perseguem luz durante a noite, o que configura um comportamento que pode sentenciar a morte do inseto.

Constantemente eram realizadas intervenções que incitassem a identificação do emprego inadequado da teleologia, principalmente no que diz respeito ao surgimento de variações no processo evolutivo. Os alunos eram convidados a

explicitar o que realmente queriam expressar com suas asserções, por meio da repetição parafraseada da ideia.

No encontro subsequente, a teoria de Robert Cummins (2002) a respeito da "neoteleologia" foi lida pelos alunos. A leitura solicitada aos alunos não foi a do texto original, mas a que está contida no artigo de Nunes-Neto e El-Hani (2009), uma vez que a teoria está descrita detalhadamente pelos autores, o que permitiu a facilidade da leitura no nosso idioma. O trecho do artigo selecionado para a leitura ressaltava a crítica de Cummins ao conceito de função por efeito selecionado (conceito etiológico de função) e explicava a terminologia empregada por Cummins para o uso da teleologia na biologia evolutiva: a neoteleologia forte (considera que todos os traços com função sofreram seleção positiva) e neoteleologia fraca (considera que alguns traços com função sofreram seleção positiva). O trecho também trazia a ênfase do autor no que se refere à ausência de teleologia na origem das variações, o que é empregado como maior contra-argumento do autor ao conceito etiológico de função.

Fundamentados na crítica de Cummins, solicitamos que os alunos revisitassem as categorias de Mayr referentes à teleologia (2005) mencionadas e analisadas no encontro anterior para que apontassem pontos de paridades e disparidades entre os dois quadros teóricos (Cummins e Mayr). A categoria de Mayr "características adaptativas" foi explorada à luz da teoria de Cummins e a partir desta ocasião, a discussão passou a estar concentrada na crítica ao programa adaptacionista[49].

Os alunos foram convidados a propor explicações para fenômenos biológicos e após as explanações, direcionávamos esforços para identificar o caráter hipotético de algumas explicações expressas pelos alunos. Ou seja, os alunos eram instigados a buscar evidências que justificassem as próprias explicações. Tal intervenção foi realizada com o intuito de permitir a identificação do caráter hipotético das formulações propostas pelos alunos, visto que aparentemente, as explicações balizadas em narrativas de seleção natural eram entendidas como uma elucidação satisfatória, que não demanda outras verificações.

[49] Nesse ponto da discussão do GPEB, chegamos a uma conclusão coletiva de que Mayr somente rejeita a teleologia na evolução biológica, justificado pela seleção natural que origina características adaptativas, o que seria classificado por Cummins como neoteleologia.

Por meio da introdução da discussão da teleologia presente em artefatos e das adequações e inadequações da atribuição de teleologia ao entendimento dos seres vivos, a discussão foi estimulada pela solicitação da interpretação do processo evolutivo no que diz respeito a aspectos gerais. Assim os estudantes poderiam fazer uma releitura de antigas asserções de suposições inadequadas que pressupõem direção, progresso ou surgimento de variações segundo a necessidade de um organismo. Nesse ponto, portanto, os participantes conceituavam a natureza dos mecanismos evolutivos (mutações gênicas, seleção natural, deriva genética e restrições/mutações do desenvolvimento, principalmente) e descreviam as implicações das interações entre tais mecanismos.

No encontro seguinte do GPEB, a discussão de Gustavo Caponi (2012) presente no livro *Função e desenho na biologia contemporânea* foi empregada como fundamentação teórica para motivar as falas dos participantes. Foram selecionados exemplos e conclusões do autor para balizar a discussão no grupo. Questionamos qual a função do coração e dos olhos nos animais, e a função do mau cheiro produzido por alguns gambás. Com tais questionamentos, o intuito era o de levantar concepções a respeito do conceito de função. Mais especificamente, a finalidade era a de identificar se os graduandos têm concepções etiológicas de função.

Comparamos as formulações biológicas teleológicas com as formulações referentes aos fenômenos físicos (que normalmente são realizadas sem teleologia), para enfatizar que se o uso do pensamento teleológico não é estendido para a compreensão da origem de componentes do mundo inanimado, também não deveria ser estendido para a origem de estruturas e grupos de organismos nas ciências biológicas.

Falamos nesse ponto a respeito da influência gravitacional da lua sobre as marés e destacamos que para a lua, o efeito exercido sobre as marés, não é a razão da sua existência. Porém, nos seres vivos, explicamos a presença de características devido ao efeito (entendido como a função) produzido por ela, que é admitido como uma característica selecionada positivamente no passado. A intenção era que se os alunos argumentassem que a lua não “surgiu para isso”, utilizaríamos esse mesmo argumento para enfatizar a ausência de teleologia na origem das variações, por exemplo: “a mutação não surgiu por uma necessidade do organismo”.

Introduzimos o conceito de função de Caponi (2012) e concluímos que dentro das descrições funcionais (causas próximas), as funções podem ser descritas sem compromissos com narrativas evolutivas.

Utilizamos o exemplo do mau cheiro produzido pelo gambá (CAPONI, 2012) para ilustrar o caráter hipotético das narrativas e “estórias” que eram propostas pelos graduandos quando tentavam explicar as causas últimas da presença de uma característica. Foram propostas aos alunos três situações nas quais gambás produziriam ou não o mau cheiro: (a) gambás produziam mau cheiro e afastavam os predadores; (b) o gambá produzia o odor como consequência da excreção de substâncias tóxicas ao organismo; e (c) gambás não produziam mau cheiro quando não ingeriam alimentos com toxinas que exigem eliminação. As três situações foram estudadas isoladamente pelos alunos, que atribuíam funções ao mau cheiro e atribuíam uma explicação de causa última a tal característica.

Em um segundo momento, as três situações foram postas de forma simultânea: o gambá produz mau cheiro devido à necessidade de eliminação de excretas tóxicas e com isso pode afastar predadores, porém em uma dieta alternativa não ingere substâncias tóxicas, não sendo necessária a eliminação de odores. Após a descrição desse quadro mais complexo, os alunos foram convidados a atribuir função ao mau cheiro e a engendrar hipóteses relativas às causas últimas dele. O intuito com essa atividade foi o de ilustrar como o alvo da seleção pode ser diferente do alvo da atribuição funcional, porque se há no exemplo, duas vantagens exibidas pela característica “mau cheiro”, que são eliminação de excretas tóxicas e proteção contra predadores, por que afinal tal característica foi selecionada positivamente?

Não visávamos atingir uma resposta final, mas sim produzir um tema de discussão que permitisse a reflexão a respeito das limitações da abordagem etiológica de função. A discussão esteve pautada na perspectiva da crítica ao adaptacionismo, que seria o próximo tópico a ser discutido. Assim, usufruímos desse momento para questionar os alunos no que diz respeito ao substrato necessário para que realmente houvesse um processo seletivo na história desses gambás que produzem mau cheiro. O substrato, que é necessariamente a

variabilidade, requer variantes de um gambá que produzem mau cheiro (o gambá que não produz mau cheiro ou o gambá que produz um cheiro mais fraco).

> De fato, para que a própria seleção natural possa ocorrer, é necessário que existam diferenças de eficiência no modo pelo qual diferentes variantes herdáveis de uma estrutura no interior de uma população permitem desempenhar uma determinada função. Para a existência de uma pressão seletiva são sempre necessários dois elementos. Por um lado, é necessário o fator ambiental, que pode ser uma ameaça ou uma oportunidade para os seres vivos envolvidos. Mas, por outro lado, também é necessária a existência de variantes hereditárias, dois ou mais estados possíveis de um caráter exibidos por distintos membros da população, que propiciem respostas melhores ou piores a essa ameaça, ou propiciem um aproveitamento maior ou menor dessa oportunidade (CAPONI, 2012, p. 79).

Nesse encontro, pretendíamos propiciar a identificação de múltiplos fatores presentes em uma narrativa de seleção natural que, se formulada sem evidências, é uma hipótese que pode ser testada, mas não coincide necessariamente com a história evolutiva real.

Durante a semana que precedia o último encontro, solicitamos que os alunos realizassem uma leitura prévia (cujo texto foi enviado por *e-mail* aos graduandos). O texto consistia em um trecho do livro “Filosofia da Biologia” organizado por Paulo C. Abrantes especificamente retirado do capítulo “Adaptacionismo” de Sepúlveda, Meyer e El-Hani (2011).

O caso do mimetismo sexual de hienas (*Crocuta crocuta*), tipicamente tratado em críticas ao adaptacionismo, foi resgatado da leitura para a discussão. Revisitamos as diferentes hipóteses e os respectivos experimentos de verificação que tentaram explicar a semelhança da genitália feminina com órgãos sexuais de machos. A primeira explicação proposta é a de que a genitália da fêmea tem um papel importante na vida social, pois favorece a integração do grupo cujos integrantes cheiram e lambem a genitália um do outro. Assim, a inferência seria a de que a genitália evoluiu por seleção natural devido à função desempenhada por ela no aspecto social (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011).

A segunda hipótese que explica a conformação da genitália feminina é a defesa de que a caracterização da genitália é uma consequência da produção de andrógenos, porém em experimentos realizados não há evidências empíricas que

tenham corroborado a relação entre hormônios masculinos e a masculinização da genitália feminina (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011).

Uma terceira hipótese, adaptacionista, sugere que o mimetismo promove a diminuição da agressividade entre fêmeas, reduzindo o infanticídio e a mortalidade (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011).

Não há, no capítulo, um consenso acerca de qual é afinal a explicação à conformação da genitália; porém a finalidade em tratar o exemplo das causas finais do mimetismo sexual da hiena é ilustrar, mais uma vez, o caráter hipotético de narrativas de seleção natural. Com esse último tópico, tentamos enfatizar que não se deve determinar *a priori* uma hipótese, pois "é necessário ir além da plausibilidade e consistência teórica, empenhando-se em investigar a consistência empírica de cada hipótese" (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011, p. 171).

Ao final dos encontros, os estudantes também responderam questões escritas nas quais alguns fenômenos reais e hipotéticos eram propostos e após a leitura, os alunos eram convidados a interpretá-los. Optamos por introduzir situações não previamente discutidas ao questionário para analisar a capacidade de generalização das concepções construídas pelos alunos. Segundo Mortimer (2000) os resultados devem ser obtidos por meio de avaliações distintas da avaliação inicial, para avaliar principalmente se os alunos são capazes de empregar os conceitos em situações novas. Dessa forma, pretende-se analisar se o aluno tomou consciência do perfil conceitual ou se faz uso indiferenciado de concepções[50].

As perguntas do questionário estão discriminadas no Quadro 4.

[50] Poderíamos ter constituído a classificação em zonas do perfil conceitual por meio do questionamento para cada um dos participantes acerca das zonas nas quais estariam as suas concepções. Porém, embora os alunos se referissem a um pluralismo e retomassem a ideia de que "a seleção não explica tudo", era constante a recorrência ao selecionismo estrito quando havia um fenômeno real ou hipotético a ser interpretado. Sendo assim, presumimos que haveria chances de uma classificação equivocada de zona de perfil conceitual durante o desenvolvimento do GPEB.

Quadro 4 - Perguntas constituintes do questionário aplicado no último encontro do GPEB

Questão 1	Dentre as espécies de tubarões, 10% correspondem a vivíparas (o restante divide-se em ovíparas e ovovivíparas). Nesse tipo de desenvolvimento, o embrião conta com o auxílio de ligações placentárias e cordão umbilical (de forma bem semelhante a um mamífero) para realização de trocas entre o organismo materno e o fetal e os filhotes nascem completamente desenvolvidos. Em algumas espécies há ocorrência de canibalismo intra-uterino, como na cabeça-chata (*Carcharhinus leucas*), em que os filhotes formados primeiro usam os dentes afiados para devorar embriões que ainda estão sendo formados. Neste caso, o nascimento pode demorar, já que há "alimento" disponível no útero, o que permite que os bebês tubarões nasçam bem desenvolvidos (com cerca de um metro). Por ter um tamanho significativo, o tubarão recém-nascido é pouco predado por outros animais, o que contribui para posicioná-los no topo da cadeia alimentar dos mares (SZPILMAN, 2004). Como você explicaria a consolidação dessa posição ocupada por tais tubarões na cadeia alimentar?
Questão 2	"Nós, seres humanos, devemos a maior parte da nossa versatilidade e capacidade atlética às nossas mãos preênseis e a nossos membros flexíveis. No entanto, essas características nos deixam vulneráveis a torções, ligamentos rompidos e membros deslocados: o reforço estrutural foi comprometido em prol da agilidade" (CAMPBELL, 2015, p. 495). Aponte exemplos de "imperfeições" dos seres vivos que possam ser empregados como evidências de processos evolutivos. Justifique.
Questão 3	Pradarias de Illinois, Estados Unidos, foram em grande parte convertidas em lavouras e pastagens, o que resultou na diminuição populacional da espécie de ave *Tympanuchus cupido* para cerca de 50 indivíduos (que em 1930 constituíam uma população de milhões). As aves sobreviventes normalmente apresentavam baixos índices de eclosão de ovos (menos de 50% dos ovos eclodiam). Após algumas pesquisas sobre o DNA das aves atuais e das aves da década de 1930, os pesquisadores tiraram algumas conclusões e decidiram adicionar 271 aves dos estados vizinhos à população de Illinois. A taxa de eclosão dos ovos melhorou em mais de 90%. Antes da intervenção dos pesquisadores, uma característica consolidada na população de aves de Illinois era a baixa taxa de eclosão de ovos (CAMPBELL, 2015, p. 495). Tal condição pode ter sido resultante de uma história de seleção natural?
Questão 4	Qual a função do nariz? Nos humanos, o nariz permite a entrada de ar que é filtrado por pêlos, é aquecido, umedecido e submetido à percepção de odores enquanto flui pelos espaços da cavidade nasal. Para questionar a função do nariz dos humanos o seguinte caso é proposto: quando os olhos apresentam condições como hipermetropia, miopia ou astigmatismo é frequentemente recomendado por um oftalmologista o uso de óculos para auxiliar a correção visual do paciente. Se os óculos são apoiados no nariz, pode-se dizer que o nariz também tem a função nos humanos de ser apoio para os óculos ou o nariz só tem funções relacionadas estritamente com mecanismos do sistema respiratório? Justifique.

Fonte: elaborado pela autora

As respostas obtidas constam no Apêndice A. Nosso objetivo com a primeira questão era investigar se os alunos construiriam uma narrativa selecionista de forma enfática, tomando a resposta como uma explicação satisfatória ou se tratariam como

uma hipótese que necessitaria de estudos empíricos. Também investigamos se apontariam outros mecanismos como mutações em genes reguladores do desenvolvimento, genes pleiotrópicos ou deriva genética.

Na questão dois, pretendíamos observar se os alunos defenderiam a influência do acaso e a ausência de teleologia no processo evolutivo ao justificar a presença de “imperfeições” dos seres vivos.

Na questão três, um caso real de deriva genética retirado de Campbell (2010), a finalidade foi a de investigar se os alunos elaboravam uma narrativa selecionista ou uma narrativa fundamentada na deriva genética. Como a baixa eclosão de ovos representava uma característica não-adaptativa, a inclusão da seleção natural como resposta pode ser considerada uma explicação equivocada.

Na quarta questão que tratava da função biológica, o objetivo foi o de investigar se os alunos apresentavam concepções etiológicas ou analíticas de função, visto que ao justificar que a função do nariz é vinculada ao sistema respiratório os alunos poderiam oferecer explicações referentes ao papel biológico relacionado à manutenção do sistema (concepção analítica de função) ou poderiam oferecer uma justificativa de que o nariz foi selecionado devido à função que um dia desempenhou (concepção etiológica de função).

Os resultados obtidos por meio das três etapas dos encontros do GPEB e por meio do questionário serão tratados no tópico 6.

5.4 A análise dos dados

Imersa na perspectiva da pesquisa qualitativa descrita anteriormente, a análise de conteúdo – segundo a proposta de Laurence Bardin (2011) – é uma análise categorial, que por meio da classificação de um texto, segundo frequências de presença e ausência de um item, pode auxiliar a superação da incerteza e o enriquecimento da leitura. Tais propriedades do “conjunto de técnicas de análise das comunicações” (*ibid*., p. 37) – que constituem a análise de conteúdo – se explicam pela função heurística, que aumenta a propensão para a produção do conhecimento; e pela função de administração da prova, quando hipóteses atuam como diretrizes para uma análise sistemática, que pode confirmar ou não uma afirmação.

A elaboração de categorias permite a classificação de itens com significado viabilizada por três fases: descrição, inferência e interpretação. A descrição consiste na listagem de características dos dados após o tratamento e síntese dos textos. Por meio da fase de inferências, é alcançada a fase de interpretação, ou seja, a fase da atribuição de significado às características enumeradas. Assim, na análise de conteúdos são engendradas inferências acerca das condições de produção dos conhecimentos, que serão deduzidos de forma lógica. Ou seja, o conteúdo dos textos deve ser descrito e analisado de forma a articular tal descrição e análise à inferência das causas que determinaram as características dos textos. Assim, a autora conceitua a análise de conteúdo como:

> Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens (BARDIN, 2011, p. 48).

A autora explica que o agrupamento característico da classificação é iniciado pela união de palavras idênticas, sinônimas ou próximas para que seja possível a criação de unidades de significação, ou categorias. Normalmente iniciada por uma "leitura flutuante", uma fase aberta a ideias, reflexões e hipóteses (o que configura essa fase inicial como um *brainstorming* individual), a análise de conteúdo passa ser direcionada por hipóteses implícitas segundo as projeções teóricas e o conteúdo do texto analisado. A formulação de hipóteses permite a proposição de uma afirmação provisória que será verificada mediante procedimentos de análise.

As categorias podem ser elaboradas previamente para em seguida atribuir elementos a elas, ou podem ser elaboradas por meio do agrupamento de elementos particulares que após serem reunidos por critérios de semelhança, podem receber um título que nomeia uma categoria formada.

Inicialmente os elementos podem ser reunidos em conjuntos que serão diferenciados (isolamento de elementos) por critérios definidos *a priori*. Uma determinada categoria, intitulado com um nome genérico, contém unidades de registro que serão agrupadas segundo as características semelhantes que apresentam (classificação). A reconstrução dos dados resultante da categorização propicia a simplificação da representação dos dados. As categorias devem ser

mutuamente exclusivas (um elemento não pode estar presente em mais de uma categoria), para tanto, deve-se utilizar um princípio de classificação homogêneo; ou seja, cada conjunto de categorias deve contemplar uma dimensão. Uma nova dimensão deve ser realizada em uma análise adicional[51].

A ordem cronológica da análise de conteúdo perpassa: "(a) a pré-análise, (b) a exploração do material e (c) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação" (BARDIN, 2011, p. 127). Na pré-análise são sistematizadas as ideias iniciais, são elaboradas hipóteses, objetivos e indicadores que permitirão a interpretação ao final. As impressões e orientações devem ser formadas a partir da leitura flutuante, que pode propiciar a formulação de hipóteses que serão verificadas pelos procedimentos de análise; e a formulação de objetivos que consiste no propósito geral e no quadro teórico ou pragmático no qual os resultados serão contextualizados. Os dados podem ser explicitados por índices que serão empregados como indicadores, segundo a frequência em que ocorrem.

As informações que viabilizam quadros, diagramas, gráficos e esquemas após a exploração do material permitem a sistematização da análise. O autor poderá realizar inferências e engendrar interpretações acerca dos objetivos formulados.

O tratamento do material é realizado mediante a codificação (a transformação de dados textuais por meio de recorte, enumeração e agregação) que pode dar origem aos índices. Quando se trata de discussões de grupo, segundo Bardin, a análise pode estar centrada na busca de "temas" nos dados, que podem ser unidades de registro dotadas de significado à luz de uma teoria que direciona a investigação[52].

> O tema é a unidade de significação que se liberta naturalmente de um texto analisado segundo certos critérios relativos à teoria que serve de guia à leitura. [...] Fazer uma análise temática consiste em descobrir os "núcleos de sentido" que compõem a comunicação e cuja presença, ou frequência de aparição, podem significar alguma coisa para o objeto analítico escolhido (BARDIN, 2011, p. 135).

[51] Justifica-se por esse motivo a nossa separação de zonas de perfil epistemológico referentes à evolução biológica e de caráter teleológico nas falas dos estudantes.

[52] Os temas, que podem se traduzir em unidades de registro, auxiliam a elaboração de categorias. As unidades de registro são elementos que podem evidenciar determinada categoria encontrada nas comunicações.

Para Bardin, embora seja empregada a frequência de elementos na análise de conteúdo, quando a inferência é fundamentada na presença ou ausência de índices (e não na frequência da aparição dos elementos), trata-se de pesquisa essencialmente qualitativa.

5.5 A classificação dos dados em zonas de perfil conceitual

Com base na estratégia de ensino adotada nessa pesquisa – a evolução de zonas de perfil conceitual por meio da promoção da tomada de consciência do próprio perfil e a transposição de obstáculos que impedem a evolução conceitual – passaremos a explorar um modelo de perfil conceitual disponível na literatura para explicar como fundamentamos o nosso próprio modelo de perfil conceitual.

Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2013) elaboraram um modelo de perfil conceitual referente ao conceito de adaptação, com a finalidade de fornecer uma ferramenta investigativa relativa ao processo de significação da teoria darwinista da evolução, por meio da análise das formulações de estudantes durante a negociação de significados entre professores e alunos. A ferramenta também é destinada à investigações de processos de ensino e aprendizagem de evolução biológica.

> Foram dispostos temas epistemológicos a partir dos quais o conceito de adaptação pode ser significado e, para cada um deles, foi identificado um conjunto de compromissos ontológicos e epistemológicos que estruturam a interpretação desse conceito. As zonas do modelo de perfil conceitual de adaptação foram constituídas a partir de uma combinação de diferentes compromissos ontológicos e epistemológicos, referentes a cada um dos temas epistemológicos dispostos na matriz (Sepúlveda, Mortimer e El-Hani, 2013, p. 444).

Os autores estabeleceram quatro zonas de perfil conceitual referentes à interpretação de traços biológicos: (1) funcionalismo intra-orgânico; (2) ajuste providencial; (3) perspectiva transformacional e (4) perspectiva variacional.

Na zona do *funcionalismo intra-orgânico* não é reconhecida a necessidade de se atribuir à forma dos organismos um porquê evolutivo, assim as explicações ficam restritas às causas próximas. Normalmente, o papel de determinado traço na manutenção do organismo (teleologia intra-orgânica) é enfatizado como uma explicação. No *ajuste providencial*, os traços dos organismos são justificados por uma perspectiva teleológica. Normalmente há explicações de que os componentes

internos do organismo estão em harmonia com as condições ambientais, sendo que "esta correlação funcional é explicada em termos finalistas, como resultado da realização de uma meta pré-determinada" (SEPÚLVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2013p. 464). Na zona da *perspectiva transformacional*[53] há uma perspectiva histórica que corresponde às explicações evolutivas referentes aos traços, mas as modificações são entendidas como a transformação da essência da população que atinge níveis de ajustes ótimos (um estado teleológico) entre o organismo e o ambiente. As mudanças evolutivas decorrem de mudanças ontogenéticas presentes simultaneamente em cada um dos indivíduos de uma população. Na *perspectiva variacional* há também uma perspectiva histórica, mas nesta zona são referentes à regimes seletivos. Nas narrativas dessa zona, uma estrutura desempenhou uma função de modo melhor ou mais eficiente do que as demais variáveis disponíveis (abordagem adaptacionista).

No Ensino Superior, a perspectiva variacional pode ter outra conformação adicional, a abordagem pluralista. Ou seja, trata-se da contraposição entre a abordagem adaptacionista e a abordagem pluralista (ver Quadro 5). Na abordagem adaptacionista, os traços são entendidos como adaptações moldadas pela seleção natural (SEPÚLVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2013).

> Esta forma de pensar se fundamenta nos seguintes compromissos ontológicos e epistemológicos: (1) primazia da adaptação em relação a outros fenômenos evolutivos; (2) exclusividade das explicações adaptacionistas para a origem e existência da forma, da função e do comportamento dos seres vivos; (3) poder causal e explicativo exclusivo ou, ao menos, preferencial atribuído à seleção natural, em relação a outros fatores/mecanismos evolutivos [...] Ela se encontra expresso na máxima de que o organismo soluciona problemas postos por um ambiente autônomo, o qual muda em consequência de eventos que são inteiramente independentes das atividades dos organismos. Contudo, as soluções disponíveis para os organismos também não são resultantes de suas próprias atividades; elas surgem em consequência de forças internas que são autônomas e alienadas do organismo como um todo. [...] Como os fatores internos, ao produzir as soluções variantes para os problemas ambientais, são cegos às necessidades do organismo, esta visão termina por resultar

[53] Uma importante diferença entre a zona de "ajuste providencial" e a zona "perspectiva transformacional" de Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2013) está na presença de uma perspectiva histórico-evolutiva na última e na ausência de explicação de causas últimas na primeira. Ou seja, a zona de ajuste providencial é caracterizada com uma explicação teleológica que pode ser classificada nas causas próximas (segundo a proposta de Mayr, 2008).

> em uma perspectiva inteiramente externalista, na qual é atribuído às condições ambientais o controle total do processo evolutivo (SEPÚLVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2013, p. 467-468).

Na abordagem pluralista da perspectiva variacional, entende-se que a evolução adaptativa pode atuar ao lado de outros processos como deriva genética, efeito fundador, reaproveitamento de estruturas preexistentes e restrições do desenvolvimento. Assim, a evolução adaptativa passa a ser *um* dos processos evolutivos.

> Em termos explicativos, diante de uma característica funcional conspícua, mantém-se a postura de não se afirmar de pronto sua origem adaptativa, mas considerar tal origem uma entre outras hipóteses a ser analisadas. Esta forma de pensar está fundamentada nos seguintes compromissos epistemológicos: (1) relativização do poder explicativo da seleção natural e (2) pluralismo de processos (SEPÚLVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2013, p. 469).

Quadro 5 - Caracterização de formas adaptacionistas e pluralistas do pensamento variacional (SEPÚLVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2013, p. 470)

ZONA "PERSPECTIVA VARIACIONAL"	
Abordagem adaptacionista	**Abordagem pluralista**
• Primazia da adaptação em relação a outros fenômenos evolutivos. • Exclusividade das explicações adaptativas. • Atribuição de poder causal e explicativo exclusivo ou preferencial à seleção natural. • Alienação entre forças internas e externas ao organismo na causalidade da forma. • Pensamento populacional. • Perspectiva evolutiva de explicação da adaptação. • Otimização (*design* ótimo).	• Consideração de hipóteses não-adaptativas na explicação da forma. • Pluralismo de processos. • Poder causal e explicativo atribuído à seleção natural lado a lado com outros processos e mecanismos. • Interdependência de forças externas e internas ao organismo na causalidade da forma. • Pensamento populacional. • Perspectiva evolutiva de explicação da adaptação.

Fonte: elaborado pela autora

O trabalho supracitado contém zonas de perfil conceitual que auxiliaram a fundamentação teórica das zonas de perfil desse trabalho. O perfil que será proposto a seguir é uma aproximação geral e didática para subsidiar a análise desse trabalho. Não optamos pela utilização das zonas de perfil conceitual dos autores acima devido à defesa aqui engendrada do pensamento teleológico como uma dificuldade ampla que contempla as demais dificuldades de entendimento do

processo evolutivo (que pode estar presente inclusiva em várias zonas de perfil conceitual). Tendo em vista que nas zonas dos autores, a teleologia (embora presente nas zonas “funcionalismo intraorgânico”, “ajuste providencial” e “perspectiva transformacional”) está mais concentrada como uma dificuldade na zona do ajuste providencial, optamos pela adaptação da estrutura das zonas para que pudéssemos fazer a caracterização de modo a separar os aspectos teórico evolutivos dos aspectos teleológicos relacionados a cada zona.

Assim, pretendemos analisar zonas de perfil conceitual quanto aos processos evolutivos presentes nas concepções dos alunos, mas analisar também separadamente, as concepções teleológicas subjacentes a cada zona. Ressaltamos que as zonas que elaboramos também estão fundamentadas na pesquisa empírica realizada no GPEB (as categorias de concepções foram engendradas por meio da Análise de Conteúdo) e nos estudos das concepções de estudantes consultadas na literatura.

A primeira zona proposta é a *Perspectiva analítica sincrônica* (semelhante à zona de funcionalismo intraorgânico supracitada). Nesta zona, os estudantes atribuem explicações aos traços biológicos sem recorrer às causas últimas (ausência de concepção etiológica), ou seja, não reconhecem a necessidade de uma narrativa diacrônica que originou um traço. Apenas uma explicação situada nas causas próximas, normalmente uma explicação funcional que recorre ao papel biológico do traço em questão, é fornecida e considerada suficiente.

Provavelmente devido ao fato de que nossos sujeitos de pesquisa são estudantes da graduação de Ciências Biológicas, não foi muito frequente a concepção localizada nesta primeira zona. Os alunos percebiam a necessidade da configuração histórica para a explicação evolutiva referente aos traços biológicos entendidos como adaptações.

A segunda zona é a *perspectiva transformacional* do processo evolutivo. Quando os traços biológicos são explicados mediante uma explanação aqui denominada “transformacional”, trata-se de incluir concomitantemente uma perspectiva essencialista (que pressupõe modificações simultâneas em todos os componentes vivos de uma população). Os compromissos epistemológicos e

ontológicos presentes nessa zona compõe uma grande categoria que é entender “Surgimento e perda de características segundo a necessidade do organismo numa perspectiva essencialista”. Normalmente tal concepção vem acompanhada da admissão do “Uso e desuso mediado por lei dos caracteres adquiridos” (ver Quadro 6)[54]. Tal zona de perfil é altamente comprometida com o pensamento teleológico, visto que a evolução é presumida como um processo direcionado ao atendimento de metas conforme as necessidades dos organismos.

A terceira zona de perfil conceitual é a *perspectiva selecionista,* ou seja, na concepção dessa zona, o estudante aponta um regime seletivo como causa da fixação de características.

A quarta zona do perfil é o *pluralismo de processos*, que contempla (segundo o recorte teórico desse trabalho) processos como a fixação de características devido à ação de genes pleiotrópicos, devido à deriva genética ou à restrição do desenvolvimento. Aqui também estão inclusas as concepções relativas ao caráter hipotético da seleção natural quando apontada como o processo que explica traços biológicos. Ou seja, as concepções que questionam a seleção natural como processo suficiente e satisfatório para explicar um traço biológico, sem evidências empíricas.

[54] Vale ressaltar que a perspectiva transformacional empregada à segunda zona de perfil conceitual não é a mesma daquela discutida pela Síntese Estendida. Trata-se de uma perspectiva transformacional que antecede inclusive a Síntese Moderna.

Quadro 6 – Proposta de zonas de um perfil conceitual de adaptação e compromissos ontológicos e epistemológicos subjacentes à cada zona. A caracterização das zonas, adaptada para atender aos objetivos desse trabalho, foi balizada nos dados empíricos obtidos no GPEB e em Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2013)

Zonas de um perfil conceitual de adaptação	
Zonas	**Compromissos ontológicos e epistemológicos**
1. Perspectiva analítica sincrônica	**1.** Suficiência das causas próximas para explicar traços biológicos.
2. Perspectiva transformacional	**2.** Surgimento e perda de características segundo a necessidade do organismo numa perspectiva essencialista; uso e desuso mediado por lei dos caracteres adquiridos.
3. Perspectiva selecionista	**3.** Uma característica é fixada após um regime seletivo. **3.1** Organismo sobrevivente é um organismo selecionado. **3.2** Seleção natural entendida como evento único que atua somente em dois tipos de organismos: adaptado e não-adaptado. **3.3** Perspectiva selecionista que supõe surgimento de variabilidade ao acaso.
4. Pluralismo de processos	**4.** Considera a seleção natural e também hipóteses não-adaptativas para explicar traços biológicos (pluralismo de processos). **4.1** Considera a seleção natural como uma hipótese e crítica o adaptacionismo, mas sem citar outro fator explicativo. **4.2** Cita a pleiotropia como explicação para a presença de um traço biológico. **4.3** Cita a deriva genética como explicação para a presença de um traço biológico. **4.4** Cita restrições do desenvolvimento para explicar um traço biológico.

Fonte: elaborado pela autora

Quadro 7 - Tipos de concepções quanto ao emprego da teleologia para o entendimento do processo evolutivo

Emprego da teleologia para a interpretação de fenômenos evolutivos
Concepções evolutivas teleológicas
T1 - O processo evolutivo é dotado de antevisão
T2 - O processo evolutivo é progressivo

Fonte: elaborado pela autora

Por meio da classificação das formulações dos alunos quanto à zona de perfil conceitual, realizamos uma organização temporal das concepções de cada sujeito.

Assim, as concepções foram classificadas em uma das quatro zonas (perspectiva analítica sincrônica, perspectiva transformacional, perspectiva selecionista ou pluralismo de processos) e as zonas foram organizadas em ordem cronológica em um quadro para podermos realizar posteriormente inferências acerca da evolução conceitual dos alunos. Além da análise das zonas de perfil conceitual também realizamos uma avaliação das concepções teleológicas dos alunos segundo as categorias de análise do Quadro 7.

6 RESULTADOS

Os dados obtidos durante os encontros do GPEB, tanto por meio da gravação de áudio e transcrição das falas, quanto por meio do questionário escrito individual final serão apresentados e classificados abaixo.

6.1 Apresentação geral dos dados obtidos no GPEB

A primeira etapa, caracterizada pelo levantamento de concepções prévias, leitura e discussão acerca dos conceitos mais gerais da biologia evolutiva (referente ao arcabouço teórico da Síntese Moderna), corresponde ao intervalo de tempo do primeiro ao terceiro encontro do GPEB. Nesse momento inicial, a primeira menção às causas evolutivas foi realizada pelo aluno A3 referente à interpretação acerca de agentes polinizadores e plantas polinizadas:

> A3: A polinização, polinização. Eles evoluíram juntos, né.
>
> Eu: quando vocês falam “eles evoluíram juntos”...
>
> A3: foram selecionados, ué.

Em resposta à análise do aluno A3, a aluna A1 responde:

> A1: Nem foi selecionado, foi precisar de alguma coisa que atraísse esses polinizadores. Quando, por exemplo, briófitas e pteridófitas necessitam de água para reprodução; então eles passaram a não precisar mais de água e precisaram de agentes polinizadores, mas para atrair esses polinizadores ele precisava da flor, de tudo mais, fruto e néctar pra atrair esses polinizadores.

Em um momento posterior da discussão, os estudantes passaram a se referir às adaptações fisiológicas que um organismo pode ter durante seu tempo ontogenético. Nesse ponto da discussão há uma confusão com termos e as formulações não estão coerentes com o modelo científico de explicação científica:

> A1: você começa a correr, se você correr direto, tentar correr muito, você não vai conseguir. Você tem que correr de pouco em pouco pra seu organismo se acostumar.
>
> Eu: então, mas o que acontece no organismo? Esse “se acostumar”, “essa adaptação?”, o que é?
>
> A1: são sinais.
>
> A4: ele começa a se planejar pra se adaptar.

Para esclarecer a diferença entre adaptação fisiológica e adaptação evolutiva, realizamos uma intervenção para expor as características que diferem em cada uma.

Em seguida os estudantes passaram a questionar acerca da validade das teorias de Lamarck:

> A2: então Lamarck tava errado, quando ele usava, esqueci o nome...
>
> Eu: a teoria? Uso e desuso?
>
> A2: uso e desuso porque... ele tava errado?
>
> A4: eu acho que ele passa pras gerações, mas ele passa ao longo de muitos anos de evolução. Não é imediato não é que nem ele falava. Acho que é mais aquela coisa de.. Mas eu acho que tem tudo a ver com pressões seletivas. Eu sobrevivi então vou passar os meus genes pra frente, então ele vai sobreviver e vai passar os genes pra frente e ai que vai...
>
> A1: e ai que Darwin pegou a teoria dele, estudou e... fez a teoria dele.. ele falou certo.

Percebe-se nessas falas o quanto há desentendimentos acerca de quais modelos de herança são aceitos na teoria evolutiva atual. O aluno A4, por exemplo, esforça-se para desenvolver um raciocínio seletivo, mas não tem uma delimitação clara da validade da herança de caracteres adquiridos.

Do mesmo modo, em falas posteriores, há o mesmo tipo de ideia acerca da herança de caracteres adquiridos.

> A9: é algo que tinha função mas perdeu a função. Que nem se a gente for pensar no siso. A gente ainda nasce com o siso, algumas pessoas já não nascem mais porque é desnecessário. As comidas eram mais duras, as pessoas precisavam mastigar mais, precisavam de mais dentes pra mastigar, hoje em dia já não tem mais essa necessidade.

Ao tratarmos da presença do apêndice vermiforme na espécie humana, uma participante considerou que:

> A1: expresso em coelhos, ele é normal, eles comem, eles tem digestão de celulose, eles precisam.

Outro estudante se referiu à presença do apêndice vermiforme no homem, justificando da seguinte forma:

> A4: eu acho que a natureza tem bastante disso de é melhor sobrar do que faltar.

Para justificar a presença de estruturas reprodutivas masculinas na flor do dente-de-leão, mas que desenvolvem sementes sem a fecundação do grão de pólen, o estudante fez uma nova colocação defendendo uma ideia similar:

> A4: talvez a função dele não seja também, porque a natureza tem muito disso, o que é muito colorido é venenoso. Será que às vezes não tem uma função pra não ser predado?

Posteriormente, uma estudante retomou a discussão referente à presença aparentemente sem função da estrutura masculina na flor do dente-de-leão:

> A2: essa questão do dente-de-leão, vai saber se talvez não seja uma tendência evolutiva dele no futuro ele poder ter um pólen que seja fértil, não estéril, entendeu?
>
> A1: é que mais pra frente necessite usar essas estruturas de novo... e não sei...
>
> A2: ou às vezes, pode gerar um processo de evolução. Como já disseram que pode ser que ele perca esse por causa dessa energia gasta e tudo mais, talvez nós estejamos vivendo esse processo de transição dessa perda desse órgão, entendeu? Você precisa ter essa, talvez isso, esse processo de evolução que a gente tá vendo, não tem função agora e tá ali, mas não tem função e ao longo do tempo vai ser perder. Tá passando por esse processo.

Acerca da presença de mamilos em humanos do sexo masculino, um aluno justificou da seguinte forma:

> A4: é aquilo de é melhor sobrar do que faltar. É melhor você ter um mamilo e eventualmente ele se tornar um seio do que você não ter um e precisar de um depois.
>
> A1: é que nem nossa professora falou que tem homens que também produzem leite.
>
> A2: vai saber né pra ajudar os bebês.

No que se refere aos órgãos vestigiais, uma estudante considerou que

> A2: Uma coisa que eu pensei também é que não ocorreu nenhuma mutação que fosse mais adaptada quanto essa, então por isso que manteve essa característica.
>
> A8: mas ai é uso e desuso.
>
> A2: não, mas assim...
>
> A8: isso não seria uso e desuso?
>
> Eu: por que seria uso e desuso?
>
> A8: sei lá aparece uma coisa mais nova e substitui a outra. Tudo bem se ela for melhor, substitui a outra.
>
> Eu: então, mas como uma função nova substitui a outra? por quê?
>
> A2: tem um adaptado e um não adaptado, é outra função que não morreria quem está adaptado.

Em uma suposição acerca de uma planta produzir néctar sem necessitar de polinizadores animais, um estudante pontuou que:

> A3: se ela tá presente na natureza ela tem que ser útil de alguma forma. Se aquilo tá presente em várias gerações daquela maneira ela tá sobrevivendo, então ela tá adaptada da forma como ela tá ali naquele meio.

Como foi possível observar nas formulações dos alunos, “imperfeições” por vezes são apontadas de forma pragmática, pois os alunos tendem a insistir pela busca de funções a tais estruturas. Além disso, muitas vezes, estruturas vestigiais são entendidas como uma “reserva” para os desafios futuros.

Quando tratamos da relação de complementaridade entre um polinizador e uma planta polinizada, os alunos apontaram também os aspectos utilitaristas de tal relação interespecífica, mas não houve uma narrativa selecionista coerente em nenhuma das falas.

Quando pedimos para que os alunos tentassem conceituar a evolução biológica, obtivemos as seguintes formulações:

> A8: processo de seleção dos mais bem adaptados a determinado meio que faz com que consequentemente os descendentes dele acabem gerando mais descendentes, talvez em consequência dos meios que eles estão, passando várias características através dos seus descendentes.
>
> A1: acho que vai passando por toda a complexidade desde os mais simples até os mais complexos.
>
> A7: situações... de seleção... mutações ao acaso também entendeu...
>
> A4: sempre que se fala em evolução me vem à cabeça “melhoramento”.

Quando o participante A4 fez a consideração supracitada acerca de seu entendimento a respeito da evolução, uma discussão foi iniciada por iniciativa da aluna A2:

> A2: mas as lampreias perderam o olho, então seria melhoramento?
>
> A8: nesse caso você tá vendo, você tá aplicando a nossa evolução aos animais. Por exemplo, nós somos totalmente dependentes do olho. No ambiente em que ela vive ela não precisa de olhos. Nesse caso você tá colocando que é uma coisa necessária mas na visão do ser humano. Ela tá num ambiente que a visão pra ela é desnecessária.
>
> A3: mas ela utiliza outros mecanismos.

> A2: se fosse melhoramento ela teria essa artimanha pra conquistar outros ambientes, seria mais fácil...
>
> A3: você acha que eles estão indo pra uma perfeição? Do jeito que se fala que tem que ter o olho, parece que a evolução vai no caminho da perfeição.
>
> A1: eu discordo.
>
> A3: eu discordo.
>
> A2: eu tava mencionando que a evolução ser melhoramento, ao meu olhar, se ela tivesse o olho ela teria uma artimanha pra conquistar o meio.
>
> A9: se ela vivesse em um meio escuro, por exemplo, em uma caverna. Se ela fosse dependente de olhos, ela ia desenvolver outros sentidos pra continuar vivendo naquele ambiente.
>
> Eu: mas ela desenvolver outros sentidos, o que isso quer dizer?
>
> A3: que ela tá se adaptando ao meio, ao ambiente que ela tá...
>
> Eu: ela estar se adaptando, isso quer dizer o que?
>
> A3: seleção...

Nas discussões percebe-se que os estudantes já passam a se posicionar com relação a afirmações dos colegas, fazendo correções de forma enfática porque algumas ideias já não lhe parecem cabíveis. Mas ainda assim, até esse momento nenhuma narrativa seletiva coerente havia sido estruturada. Quando o aluno A3 citou “seleção” como a forma pela qual um organismo estaria “se adaptando ao meio”, a aluna A5 tentou explicar:

> A5: ela tá evoluindo porque o ancestral dela às vezes tinha um olho, tato ou outros sentidos mais aguçados. Por conta disso, não sentiram uma pedra e ele morreu por causa de uma pedra e ai... [interrupção por outra fala]

Com tal formulação, a aluna A5 menciona uma variabilidade (ancestral com alguns sentidos aguçados e ancestral sem tais sentidos) que favoreceu a sobrevivência de alguns organismos em detrimento da sobrevivência de outros que sofreram pelos desafios ambientais de uma determinada circunstância (interior da caverna sem iluminação). Ainda percebem-se alguns “atalhos”, ou seja, a explicação está curta e abstrai alguns passos.

Em seguida, outro aluno estruturou uma narrativa seletiva, consideravelmente mais completa:

> A8: numa situação extrema. Veda todo mundo que tá nessa sala e solta um frango aqui dentro. A pessoa com a melhor noção de espaço e audição, não dependente da visão, vai conseguir localizar o alimento. Em situação extrema, fundo do oceano ou caverna, os animais que não dependem da visão mas tem outros sentidos mais apurados tem mais chance tanto de obter alimento quanto de escapar de predadores.

Na primeira etapa, apesar de nesse ponto já terem ocorrido várias intervenções, havia algumas confusões no que diz respeito à mistura entre causas próximas e causas últimas, como se pode constatar na seguinte fala:

> A2: comer faz parte do processo evolutivo porque se você se alimentar mal, vai ter problemas. Ai vai fazer parte do processo evolutivo.

Quando introduzimos distinções entre processos de causas próximas e processos de causas últimas, questionamos se a evolução parasse, se o desenvolvimento embriológico continuaria a ocorrer, ou seja, “pode ocorrer desenvolvimento embriológico sem evolução?”. Um estudante respondeu:

> A3: quando você fala evolução parte do organismo se adaptar ao meio ou a evolução do organismo ficar mais complexo em si?

Foi necessária a discussão referente à classificação do desenvolvimento ontogenético ser entendido como uma causa próxima em biologia. Ratificamos que o desenvolvimento não é um mecanismo evolutivo. Uma estudante questionou:

> A5: mas então o que é um processo evolutivo?

Após introduzir algumas conceituações, ainda nessa primeira etapa, com melhor conhecimento acerca dos conhecimentos prévios dos participantes, passamos a resgatar alguns conceitos básicos da Síntese Moderna, como o conceito de mutação. Ao exibirmos imagens de mutações que causam anomalias, questionamos se há alguma vantagem na existência de tais mutações. Uma estudante respondeu

> A10: no momento que a gente tá parece que não. A gente não sabe quanto tempo pode durar esse tipo de mutação. Se vai ocorrer mais vezes. Se num futuro longe vai existir e não tem como a gente prever... nesse momento não parece boa para o modo como a gente vive...

Não houve menção alguma referente a não haver relação entre a origem da mutação e o efeito que terá sobre o indivíduo que a sofreu (ou seja, os alunos não

apontaram o caráter aleatório das mutações para justificar a razão de não representarem vantagens ao organismo).

Quando convidados a apontar evidências observáveis de evolução, os participantes apontaram para casos confusos e não atrelados a uma perspectiva seletiva:

> A5: pode ser o siso também, do dente. Tem pessoas que não tem mais o siso.
>
> A7: dá pra falar sobre a moleira também. Só que dai vai dele se ele vai acreditar ou não. Antigamente a moleira era muito maior e atualmente tem uma tendência a diminuir a formação dela porque as crianças na maior parte já não é mais parto normal. É cesárea. [...] Como agora a maioria é cesárea você não tem mais essa implicação. A tendência é que as crianças tendem a diminuir essa moleira.
>
> A2: a questão de crianças antigamente demoravam mais de 15 dias para abrir os olhos, ou mais. Tipo evoluiu. Se você perguntar antigamente...
>
> A10: em menos tempo na verdade, né porque se você perguntar para os seus pais eles vão falar que teve uma grande diferença do tempo deles para o nosso. Essa questão do bebê, por exemplo. Muitas coisas antes o bebê demorava pra abrir os olhos, ele demorava pra ficar durinho, pra sentar... hoje em dia mesmo minha amiga me levou pra visitar um bebê de três meses, ela fica olhando pra TV e antigamente eles não faziam isso. Eles já tem um alto nível de concentração e os bebês não faziam esse tipo de coisa antes.

Os exemplos elencados são relativos ou a melhoramento ou à perda de uma característica que não tem mais função. Os estudantes se balizam em exemplos do senso comum, sem dados estatísticos ou empíricos.

Ainda na primeira etapa discutimos a resistência de bactérias aos antibióticos. Acerca do tema, uma participante explicou que

> A10: eu diria que elas vão, por exemplo, o antibiótico ele vai agir em algum ponto da bactéria, algum ponto que tá causando a doença e a bactéria vai morrer. Mas elas se proliferam tão rápido que acho que aquelas gerações conseguem ir criando uma autodefesa. Elas conseguem criar mecanismos de defesa pra inibir o uso daquele antibiótico muito rápido.
>
> A8: e ao acaso surge uma mutação que vai fazer com que a bactéria se torne imune ao antibiótico.
>
> A3: às vezes nem ao acaso, às vezes já tem uma bactéria de uma centena que tenha resistência ao antibiótico num plastídio e ele vai passando para as outras.

Não necessariamente as proposições dos alunos A8 e A3 podem se equiparar à proposições da aluna A10, visto que a aluna A10 empregou algumas formas inespecíficas de formulações, mas provavelmente a aluna se referiu de uma forma teleológica ao processo de aumento de resistência em populações de bactérias.

Após problematização referente ao aumento da resistência de bactérias aos antibióticos e de insetos aos inseticidas, passamos a discutir a origem das mutações.

> Eu: e essa resistência, da onde veio?
>
> A2: de uma mutação.
>
> Eu: ela surgiu por quê?
>
> A2: porque na hora de dividir o material genético dela teve algum erro de divisão que gerou a mutação, que nesse caso foi benéfica para a bactéria, que ai ela ficou resistente e ai a outra bactéria que não teve essa mutação ela morreu. Ai como ela morreu ela não vai perpetuar.
>
> Eu: você tá falando que o que causou a mutação foi o acaso?
>
> A2: é.
>
> Eu: o fato de ela ter permanecido não é ao acaso?
>
> A2: não, mas o fato dessa mutação ter acontecido foi ao acaso.

Quando tratamos do caso da jararaca ilhoa que possui uma população insular com veneno mais potente do que as populações continentais, alguns estudantes se pronunciaram:

> A6: se for pensar que as cobras que por uma mutação talvez né começava a ter veneno mais potente foram as que sobreviveram na ilha, em relação às outras...
>
> A8: ou que as cobras que com veneno de uma ação mais rápida tiveram sucesso na caça, logo tiveram mais sucesso em se reproduzir e passaram, formaram linhagens com veneno de ação mais rápida.
>
> Eu: então o que vocês estão querendo me dizer é que não necessariamente a jararaca da ilha tinha um veneno de ação rápida.
>
> A3: foi selecionado. Se é a mesma do continente então elas tem algum ancestral comum, deve ter um veneno mais fraco e algumas da ilha só as que tinham veneno mais forte perpetuaram e foram continuando, ficando mais fortes.

> A8: talvez durante a população inicial já houvesse de algumas com veneno mais potente, algumas com veneno um pouco mais fraco. Até porque de indivíduo para indivíduo há sempre uma divergência e com essa pressão seletiva do próprio ambiente causou essa evolução na espécie local.

Ainda que com algumas imprecisões conceituais nas formulações, pode-se dizer que os alunos estavam balizados em teorias seletivas, sem caráter teleológico.

Quando discutimos a Ilha de Lençóis que possui uma alta proporção de albinos em relação às pessoas com pigmentação normal, os participantes se pronunciaram da seguinte forma:

> A6: eles só se reproduzem entre eles.
>
> A3: vou fazer uma loja de protetor solar lá.
>
> A8: é deriva genética... você pega uma parcela da população, que os seus genes não representa a proporção dessa população e coloca num local e aquele gene que não seria predominante acaba se tornando por causa da parcela que você acabou selecionando.

A partir desse ponto, passamos a explorar as características e a importância da deriva genética na evolução biológica.

Quando, em outro momento, os participantes foram convidados a conceituar a seleção natural, obtivemos as seguintes respostas:

> A5: são mutações que ocorrem que vão ser selecionadas para melhor adaptação do indivíduo no ambiente que ele tá.
>
> A4: eu já diria que são fatores do ambiente, fazendo uma pressão de seleção.
>
> Eu: fatores do ambiente fazendo uma pressão?
>
> A3: ai é Lamarck né o ambiente estar...
>
> A5: o ambiente está te forçando a estar... do jeito que o A4 falou eu também entendi. Dependendo se tá frio, ai o frio vai fazer com que eu desenvolva pêlos pra me proteger do frio. Ai por exemplo, o A3 já tem pêlos ou por alguma mutação e ai ele vai se adaptar melhor ao frio e ai nós vamos morrer e ai ele vai se reproduzir com quem sobreviver, ai os sobreviventes vão ter pêlos.

É interessante constatar que nessa última fala da aluna A5, a formulação “ai o frio vai fazer com que eu desenvolva pêlos para me proteger do frio” pode ser interpretada como uma perspectiva teleológica. Porém, quando a aluna vai explicar a própria ideia, emprega uma narrativa selecionista.

As falas subsequentes foram as seguintes:

> Eu: quando a gente vai explicar a seleção natural a gente recorre a uma narrativa, vocês já perceberam? É uma história que tenta necessariamente recorrer ao passado. Então como a gente coloca ela numa frase? Você [me dirigindo à aluna A5] incluiu a mutação, né? Mutações que surgem e...
>
> A3: depois o ambiente seleciona.
>
> A5: perpetua.
>
> A2: é a perpetuação do que foi selecionado.
>
> Eu: vocês percebem que a gente tá incluindo dois mecanismos evolutivos na mesma frase?
>
> A8: mutação e qual?
>
> Eu: a seleção.
>
> A6: então eu poderia falar que a seleção natural ela ocorre por pressão ambiental onde os melhores adaptados são os que sobrevivem e os que perpetuam. Sem colocar a mutação no meio.
>
> Eu: quando a gente coloca a mutação que é um processo que ocorre no nível do genótipo, ela pode ser perpetuada ou não por diferentes motivos. Uma mutação, por exemplo, pode ser retida numa população por deriva genética. Mutação e seleção natural nem sempre estão necessariamente atreladas. Pode ser que esteja.

Passamos a explorar tipos de pressões seletivas, visto que as formulações estavam imprecisas. Discutimos questões referentes às competições, por exemplo.

Os alunos foram questionados quanto à relação entre seleção natural e evolução, se eram sinônimos ou se a relação era outra. Recebemos as seguintes respostas:

> A3: a evolução atua de outros modos.
>
> A2: a seleção natural é um mecanismo.
>
> Eu: pode ocorrer evolução sem seleção natural?
>
> A8: seleção artificial causada por nós.
>
> Eu: mas a seleção artificial é uma variação da natural, ela ainda seleciona, ainda é uma pressão.
>
> A8: deriva genética.
>
> A6: a mutação e seleção sexual.
>
> A3: altera frequências gênicas.
>
> Eu: agora me digam com sinceridade: vocês conseguiam enxergar um processo seletivo sem seleção natural?
>
> A2: eu não muito. Tive muita dificuldade.

> Eu: parece que tudo tem seleção natural no final, não parece?
>
> A2: parece.
>
> A5: porque sempre que a gente escuta falar de evolução e sempre que fala de evolução fala de seleção natural e vice-versa. Pelo menos na escola...
>
> A10: é na escola fala muito pouco dos outros mecanismos, só se fala de seleção natural então a gente nem desperta o interesse por outros mecanismos.
>
> A6: a migração também é um fator para trazer inovação sem ser seleção natural.
>
> A2: então, mas no final eu sempre acabo pensando que sempre lá na frente vai selecionando uma população.
>
> Eu: pode ser que sim.
>
> A5: mas ai se não selecionar, por que vai perpetuar? Eu não sei, mas se não tivesse a seleção ai ele não taria selecionado e dai ele não iria passar para frente os genes dele.
>
> A3: ele tem que passar por uma mutação e essa diferença vai ser o que vai ser selecionado depois.
>
> A5: então por que se ele não for selecionado ela vai ficar lá com a mutação de e ai?
>
> A6: é igual a questão do albinismo. Ele não foi selecionado, só ocorreu por conta de que eles se reproduziram entre eles.
>
> A5: é verdade.
>
> A6: que é a deriva, né. Não é seleção, né, e permanece.

Foi possível perceber que os participantes tentavam esclarecer as ideias uns dos outros e tentavam se ajudar para encontrar uma resposta. Houve uma atitude cooperativa entre eles, que sempre tentavam corrigir as próprias concepções. Pode-se dizer que houve uma tendência para a predileção por narrativas seletivas em detrimento de narrativas transformacionais ao longo da primeira etapa.

Na segunda etapa, caracterizada por leitura e discussão referentes aos conteúdos da área de estudo da evo-devo, os alunos estruturavam narrativas seletivas com muita frequência, porém algumas vezes algumas concepções imprecisas surgiram. Acerca de uma proposição hipotética de um mamífero que teria que buscar alimento no alto de árvores, mas não teria uma morfologia que permitisse a escalada, houve a seguinte discussão:

> Eu: garras e membros fortes, por que ele não tem?
>
> A3: por que às vezes...

> A5: porque ele nunca precisou dessa fruta ele conseguia outra fonte.
>
> A3: mas se ele precisasse ele desenvolveria? Eu acho que no caso ele não possui o gene que tem isso. Às vezes porque ele não teve uma modificação, alguma coisa que levou ele a desenvolver isso ou mesmo se tivesse sei lá mesmo se foi tipo sei lá um ancestral comum dele que poderia ter uma garra mas ele não tem, por que ele não tem? Ele não tem porque sei lá, às vezes ele não precisa daquilo então por que ele vai ter? então tipo, foi selecionado...
>
> Eu: essa coisa de ele não precisar...
>
> A3: é mas também é... se você não precisa de uma coisa, ela vai atrofiar...
>
> Eu: você acha que você só tem características que só se mantiveram ao longo do processo evolutivo porque você precisou delas?
>
> A3: não, mas eu acho que o apêndice é uma delas. A gente não precisa mais, sei lá.
>
> Eu: todas as características de um organismo vivente são resultados de seleção natural?
>
> A5: não só de seleção natural.
>
> A3: mas de outros fatores.
>
> A5: era mutação...
>
> A3: tudo que estiver atuando que é evolução né...

Passamos para a definição de exaptação (GOULD; VRBA, 1982) na discussão, para introduzir o conceito de que muitas vezes uma estrutura que representa uma inovação evolutiva pode não necessariamente ter desempenhado uma função que corresponde à função atual. As penas das aves, por exemplo, já representaram a função de regulação térmica às aves, mas atualmente também auxiliam o voo. As penas seriam, portanto, uma exaptação. Também introduzimos o caso referente à redução do canal de parto e consequente redução da caixa craniana do recém-nascido. Alguns participantes se pronunciaram:

> A3: os que tinham cabeça grande morriam e os que tinham cabeça pequena sobreviviam, então foi selecionando sempre aqueles que tinham cabeça menor.
>
> A5: ah, é ao acaso né, se é um cabeçudinho que morreu, porque tava sem ar e ai nascia as crianças com cabeça menor, conseguiriam crescer, se desenvolver e se reproduzir e ai a partir disso, todos, não todos né, os que nasciam com cabeça menor foram passando isso de geração para geração.

Novamente os alunos aludem a narrativas seletivas para explicar fenômenos.

Quando questionamos os alunos no que diz respeito à inexistência de tetrápodes com seis membros, os estudantes explicaram das seguintes formas:

> A3: o ambiente selecionou os de quatro pernas, mesmo que tivesse o de seis, ele selecionou o de quatro.
>
> Eu: por quê? O que aconteceria com quem tinha seis?
>
> A5: ele ficava para trás porque ele não tinha uma capacidade de locomoção tão ágil quanto o outro e ai ele era predado.

Nessa última consideração da aluna A5, constata-se que a estudante não se incomoda com o caráter hipotético da proposição elaborada por ela e considera plausível atribuir tal narrativa sem outras investigações. As falas subsequentes são as que seguem:

> A7: ele tinha um ambiente adaptado ao de quatro, então talvez não seja tão viável que seja ao contrário talvez fosse tomado a partir dali só de quatro, dois pares de pernas. Se começasse com seis e depois tivesse quatro...
>
> Eu: se o ancestral tivesse seis e o descendente quatro, é isso?
>
> A7: é, o ambiente já teria seis, então seria tudo estaria regulado para seis pernas, então talvez quatro não seria tão bom também, se fosse o inverso. Todo o ambiente assim a predação, favorece escalar em árvore, alguma coisa assim já seria tudo seis. Seria mais fácil para ele.

O aluno A7 justifica por meio de uma concepção de que as condições atuais são ótimas e correspondem a uma adaptação do organismo ao ambiente: ter quatro pernas é uma “condição de adaptação”. Há muitas falas que tratam a adaptação como uma condição e não como um traço biológico fixado por seleção natural, assim é possível inferir que, conforme os dados do GPEB apontaram, os alunos tendem a atribuir propriedades ontológicas equivocadas principalmente ao conceito de adaptação. Alguns exemplos de formulações que evidenciam essa atribuição inadequada são:

> A3: ele tá adaptado nas condições daquele ambiente que por ser estável, ele tá adaptado naquelas condições mas se o ambiente mudar ele não vai estar perfeitamente adaptado.
>
> A3: Ele tá sem dificuldade, porque ele vive lá no ambiente, todas as características do ambiente, ele tá adaptado a elas.
>
> A2: tem um adaptado e um não adaptado, é outra função que não morreria quem está adaptado.

> A8: depende se você tá melhor adaptado a uma determinada situação... não?
>
> A3: mas se aquilo tá presente em várias gerações daquela maneira e ela tá sobrevivendo, então ela tá adaptada da forma como ela tá ali aquele meio.
>
> A3: naquele meio, mas assim como outras também, em outros meios pode não estar adaptada.
>
> A3: O organismo tem aquela forma porque eles tão adaptados para forma que eles estão.

Nas formulações supracitadas, a adaptação não é entendida como um "caráter" (comparação entre linhagens) que deveria ser entendida à luz de uma perspectiva diacrônica, que resulta de uma história evolutiva de seleção natural. As adaptações são entendidas pelos estudantes como uma "configuração" ou a "parte" de um organismo. Ou seja, a adaptação é interpretada pelos alunos como uma conformação do organismo.

Quando insistimos para que estruturassem uma hipótese não seletiva para a inexistência de seis pernas, um estudante considerou que:

> A3: porque o desenvolvimento não possibilitou, tipo embriologicamente não foi possível você gerar indivíduo com seis pernas.
>
> A5: porque ai ela teria que desenvolver o sistema nervoso dele para essas outras duas pernas e ai não sei.
>
> A3: você viu que nasceu uma criança com mais uns dois pares de pernas? Tinha várias pernas ai ela fez uma operação, nasceu com duas bacias.
>
> A6: é porque quando nasce uma mutação com erro, uma criança com uma perna ou um braço a mais, ela não é funcional, às vezes seja por isso que não vai para frente...
>
> Eu: e ai a gente põe essa explicação em qual das duas? Evo-devo ou seleção?
>
> A6: ai seria de seleção natural...
>
> A5: mas ai no desenvolvimento ela foi viável. Se no desenvolvimento não foi viável, aborta.
>
> A6: nem nasce...
>
> A3: então pode ser viável em termos de desenvolvimento e não viável em termos de seleção natural. E o contrário também... Seleção natural atua sobre o que é viável no desenvolvimento. Mas se não for viável...
>
> A5: ela nem vai ter a chance de ser selecionada.

Quando passamos a discutir o efeito da pleiotropia na conservação de algumas características atreladas a genes que expressam múltiplos traços, um aluno se manifestou da seguinte forma:

> A5: mas, por exemplo, se esse gene formar o rim e além do rim ele expressar um dedo vestigial ai vai ser viável. Não faz diferença ou ele pode tirar o dedo depois, mas o rim que é vital ele vai ter, então ele pode ser viável.

Quando introduzimos a pergunta referente à permanência do número par de olhos de peixes que exibem muita variação no número de escamas, pontuamos que hipoteticamente, a formação dos olhos estaria atrelada à formação do coração. Os alunos discutiram o seguinte:

> A3: por que a variação do número de escamas...
>
> A5: não vai influenciar em outros órgãos. O par de olhos vai influenciar no coração que é um órgão vital. Então para os peixes serem viáveis eles precisam ter um par de olhos.

Os alunos incluíram formulações que extrapolam as explicações seletivas para interpretar fenômenos, mas somente diante de um estímulo que normalmente consistia em instigar os participantes a elaborarem uma narrativa de cunho não seletivo.

Na terceira etapa que consistiu nas leituras e análises relativas ao emprego da teleologia na biologia, as discussões estiveram focadas em realizar distinções entre causas próximas e últimas quando um dado fenômeno era tratado, e, em enfatizar a ausência de teleologia no processo evolutivo. Passaremos a explorar alguns pronunciamentos realizados durante os encontros do GPEB nessa etapa.

> Eu: [...] existe uma teleologia aceitável, ou seja, dizer que alguma coisa atende a um fim na biologia?
>
> A3: eu acho que sim. Em termos evolutivos não pode usar. Mas por exemplo, o meu dedo tem um fim, o meu dedão. Ou por exemplo, o meu olho tem um fim. Mas que ele foi desenvolvido para esse fim eu acho que não.
>
> A3: nas causas últimas ai tem como pensar teleológico, mas se for pensar nas causas últimas acho que não tem como explicar os fins.
>
> A1: por quê?
>
> A3: eu acho que se explicar por causas teleológicas as causas últimas porque vai cair no negócio de acaso e necessidade. Ele tem aquilo porque ele precisa, pelo acaso ou porque ele precisou daquilo

> e desenvolveu aquilo? Ai cai em Lamarck e Darwin, não sei, eu penso dessa forma.
>
> A1: eu penso assim, no porquê disso. Porque a autopolinização não é tão favorável assim. Para planta. Porque não tem variabilidade genética.
>
> A3: nesse caso algumas plantas, elas tem isso, é mais fácil ser autopolinizado porque ela vai continuar a espécie...
>
> Eu: vocês acham que tem um problema no nosso linguajar? Vocês acham que dificulta nosso entendimento do processo evolutivo?
>
> Vários: sim.
>
> Eu: se houvessem evidências empíricas de que é possível herdar caracteres adquiridos por uso e desuso a gente poderia por teleologia no processo evolutivo?
>
> A3: eu acho que ai sim.

Quando tratamos da teoria da neoteleologia de Cummins (2002), passamos a criticar o adaptacionismo e apontar o caráter hipotético de uma narrativa seletiva sem embasamento empírico. Os alunos concordavam com a perspectiva de Cummins:

> A3: com certeza... acho que se você recorre a um fenômeno para fazer uma regressão é uma hipótese, não tem como você afirmar. Você reúne evidências que te mostrem outras coisas.

Percebemos que havia mais plausibilidade na posição que rejeita a teleologia do processo evolutivo nessa etapa, como pode ser constatado nas falas a seguir:

> A3: Eu sou um organismo X que adquiri uma estrutura ao acaso, uma estrutura, uma mutação, não sei. Aquela estrutura pode ter uma utilidade para aquele negócio. O que vai dar essa utilidade para ela é o que ela vai possibilitar ao organismo, se ela vai ter ou não um fim teleológico.
>
> Eu: uma estrutura pode simplesmente não ter teleologia nenhuma. Tipo um mamilo ou o apêndice.
>
> A3: sim.

Na colocação acima, realizada pelo aluno A3, as concepções se aproximam muito da concepção analítica de função, mas não era uma unanimidade entre os participantes, pois um aluno (A7) formulava justificativas que seriam correspondentes a uma concepção etiológica de função.

> Eu: por que a gente diz que a função dos olhos é enxergar?

> A3: porque ele tem essa característica de possibilitar a gente interagir com o meio dessa forma.
>
> Eu: uma capacidade?
>
> A3: uma capacidade.
>
> Eu: tem outra justificativa?
>
> A7: porque isso foi crucial para sobrevivência. O órgão se adaptou a essa função nos humanos.
>
> Eu: por que bombear o sangue é a função do coração? Porque ele surgiu para bombear o sangue?
>
> A10: não. Porque se tirar ele, não tem o que faça isso.
>
> Eu: e qual a função do mau cheiro do gambá?
>
> A10: espantar predadores.
>
> A7: porque ele evolutivamente desempenhou isso. Os que tiveram os cheiros piores sobreviveram, porque eles conseguiam afastar mais predadores...
>
> Eu: se a função pode ser eliminar a substância tóxica ou afastar predador, como a gente justifica qual das duas é?
>
> A7: porque ela tem um papel evolutivo.

O aluno A3 e a aluna A10 exploram explicações compatíveis com a concepção analítica de função, mas o aluno A7 estrutura explicações notavelmente enquadradas na concepção etiológica de função. Em outra fala também se pode observar outro participante com concepção etiológica de função. A fala se refere à justificativa da presença de polegares opositores na linhagem humana:

> A1: porque assim tinha alguns que não tinham, então a seleção favoreceu aqueles que tinham. Em uma determinada época pode ter existido um que tivesse um diferente. [a aluna refere-se à presença de polegares opositores]

No que se refere às perspectivas dos estudantes em relação ao desenvolvimento teórico do GPEB, alguns se manifestaram espontaneamente:

> A1: quando você pensa em evolução, quando você é leigo associa bastante a coisas benéficas, mas a mutação pode ser ruim... é mais fácil você pensar na seleção natural. Os humanos, nós somos evoluídos. Seres humanos são seres evoluídos, mas por quê? Você fala como se a evolução fosse algo benéfico, como se fosse algo maior. Então é mais fácil você pensar isso que ela foi que ela pode ser benéfica...
>
> A6: eu fico pensando assim, né. A gente aprendeu a ensinar dessa forma, né. Mas será que então é isso? Agora eu fico pensando se tudo é ou não é no final das contas...

Pode-se afirmar que os estudantes tendiam ao selecionismo estrito até a segunda etapa, mas na terceira etapa tentavam estruturar raciocínios mais plurais. Porém, ainda se sentiam inseguros e “presos” ao raciocínio da seleção natural. Quando instigados a buscar explicações adicionais para traços dos seres vivos, apontavam o efeito da pleiotropia e evo-devo. Houve uma aparente redução da teleologia ao longo dos encontros, sendo que passou a ser rara, e quanto presente, era corrigida pelos próprios participantes. No último encontro do GPEB, os questionários finais foram aplicados e os alunos responderam individualmente, sem interações entre os participantes.

A aluna A1 incluiu respostas com narrativas seletivas e não apresentou explicações pluralistas.

O aluno A3 incluiu respostas com narrativas seletivas, mas incluiu também a deriva genética como possível explicação para uma questão.

O aluno A4 incluiu narrativas seletivas e não apresentou explicações pluralistas.

A aluna A5 estruturou narrativas seletivas e narrativas acerca do efeito da pleiotropia sobre a conservação de características não selecionadas.

A aluna A6 demonstrou preocupação acerca do caráter hipotético da seleção natural, e, quando fazia narrativas seletivas, acrescentava que se tratava de uma hipótese que deveria ser investigada.

O aluno A7 estruturou hipóteses referentes à seleção natural e à deriva genética.

A aluna A9 apresentou somente hipóteses de caráter seletivo.

A aluna A10 também apresentou somente explicações com caráter seletivo.

No questionário final, os alunos realizaram respostas curtas e de difícil interpretação (ver Apêndice A). Foi possível perceber que a verbalização das ideias foi um processo mais fácil para eles, visto que se queixaram da dificuldade para formular respostas escritas durante a aplicação do questionário. Vale ressaltar que os alunos que responderam ao questionário, formularam respostas a respeito da

função do nariz por meio de uma concepção analítica de função (sem recorrer à evolução).

6.2. Classificação das concepções nas zonas de perfil conceitual

As formulações verbalizadas e escritas pelos participantes ao longo dos encontros, parcialmente expostas no tópico anterior, foram categorizadas por meio da análise de conteúdo de Bardin (2013). Temas emergiram da análise das falas e algumas unidades de registro foram encontradas e utilizadas para a classificação das concepções nas categorias, aqui representadas pelas zonas de perfil conceitual. As unidades de registro foram elencadas e receberam as seguintes denominações:

1. Perspectiva analítica sincrônica (não há explicação de causa última para a presença de um traço biológico): classificada como a primeira zona de perfil conceitual.
2. Adaptação resulta de uma resposta consciente do organismo: classificada como concepção teleológica.
3. A evolução tende ao progresso: classificada como concepção teleológica.
4. Lei do uso e desuso: classificada na segunda zona de perfil conceitual “perspectiva transformacional”.
5. Lei dos caracteres adquiridos: classificada na segunda zona de perfil conceitual “perspectiva transformacional”.
6. Seleção é um agente intencional: classificada como concepção teleológica.
7. A variabilidade é uma resposta à necessidade: classificada como concepção teleológica.
8. Essencialismo: classificada na segunda zona de perfil conceitual “perspectiva transformacional”.
9. Seleção é um evento (tem começo, meio e fim determinados): classificada na terceira zona de perfil conceitual “perspectiva seletiva”.
10. Tempo evolutivo é confundido com tempo ontogenético: classificada como concepção teleológica.
11. Teleologia cósmica (a evolução tem antevisão): classificada como concepção teleológica.
12. Ser selecionado significa estar vivo: classificada na terceira zona de perfil conceitual “perspectiva seletiva”.

13. Atribuir função a qualquer traço biológico: classificada como concepção teleológica.
14. Selecionismo estrito: classificada na terceira zona de perfil conceitual “perspectiva seletiva”.
15. Falta de distinção entre mutação e seleção natural: classificada na terceira zona de perfil conceitual “perspectiva seletiva”.
16. Pluralismo explicativo para interpretação de traços biológicos (deriva genética, pleiotropia ou evo-devo): classificada na quarta zona de perfil “perspectiva pluralista”.

As unidades elencadas não são mutuamente exclusivas, pois há intersecções entre várias delas. Tais unidades passam então a ser classificadas em categorias[55] que são representadas pelas zonas de perfil conceitual (a descrição completa das zonas pode ser consultada no tópico 5.5 desse trabalho) e pela classificação quanto à teleologia (o quadro de classificação quanto à teleologia pode ser consultado no tópico 5.5 desse trabalho). As zonas de perfil conceitual, segundo a proposta do tópico 5.5 eram:

1. Perspectiva analítica sincrônica;

2. Perspectiva transformacional;

3. Perspectiva selecionista;

4. Pluralismo de processos.

A única fala de uma estudante que se aproxima muito da zona “perspectiva analítica sincrônica” foi uma resposta a um questionamento referente à produção de néctar em algumas plantas.

> A1: Nem foi selecionado, foi precisar de alguma coisa que atraísse esses polinizadores. Quando, por exemplo, briófitas e pteridófitas necessitam de água para reprodução; então eles passaram a não precisar mais de água e precisaram de agentes polinizadores, mas para atrair esses polinizadores ele precisava da flor, de tudo mais, fruto e néctar para atrair esses polinizadores.

[55] A partir do reagrupamento de unidades de registro em categorias, consideramos que as categorias finais passam a ser mutuamente exclusivas.

A estudante não elaborou uma narrativa para explicar a presença de néctar, pois somente justificou tal presença ao citar a necessidade da planta, por meio de explicações localizadas nas causas próximas. Neste caso, talvez se trate de uma dificuldade de vocabulário para a formulação da explicação evolutiva ou de uma dificuldade para a identificação de mecanismos evolutivos para fundamentar a explicação. De qualquer forma, nenhum processo evolutivo foi citado e toda a explicação esteve baseada nas causas próximas.

Já a “perspectiva transformacional” é evidenciada nas seguintes falas dos sujeitos de pesquisa do GPEB:

> A7: É algo que tinha função, mas perdeu a função. Que nem se a gente for pensar no siso. A gente ainda nasce com o siso, algumas pessoas já não nascem mais porque é desnecessário. As comidas eram mais duras, as pessoas precisavam mastigar mais, precisavam de mais dentes para mastigar. Hoje em dia já não tem mais essa necessidade [referente aos órgãos vestigiais].
>
> A2: Talvez nós estejamos vivendo esse processo de transição dessa perda desse órgão, entendeu? Você precisa ter essa, talvez isso, esse processo de evolução que a gente tá vendo, não tem função agora e tá ali, mas não tem função e ao longo do tempo vai se perder [referente aos órgãos vestigiais].
>
> A3: Ele não precisa daquilo, então por que ele vai ter? Se você não precisa de uma coisa, ela vai atrofiar [referente aos órgãos vestigiais].
>
> A11: Porque já serviu para alguma coisa, mas como a gente entrou em uso e desuso a gente acabou não usando mais isso ele acabou diminuindo... ai tem gente que não vai ter mais o apêndice igual tá acontecendo com o dente do siso [referente aos órgãos vestigiais].
>
> A11: mas o apêndice não era só no caso de herbivoria, era para deixar o intestino maior para digestão ocorrer corretamente. Porque antes como eles comiam mais alimentos crus era mais difícil fazer a digestão então tinha que ser um caminho mais longo para digerir tudo que o corpo precisa. A partir do momento que eles começaram a cozinhar e utilizar o fogo para alimentação não foi precisando tanto esse caminho gigante para absorver tudo que ele precisa, ai conforme isso foi mudando pode ir regredindo [referente aos órgãos vestigiais].
>
> A10: o antibiótico ela vai agir em algum ponto da bactéria, algum ponto que tá causando a doença e a bactéria vai morrer. Mas elas se proliferam tão rápido que acho que aquelas gerações conseguem ir criando uma autodefesa, elas conseguem criar mecanismos de defesa para inibir o uso daquele antibiótico muito rápido.

Diferentes sujeitos de pesquisa trataram inicialmente o uso e desuso como uma forma explicativa plausível, assim, recorrem a uma perspectiva transformacional para explicar uma suposta alteração essencialista de uma população.

Na “perspectiva selecionista” que esteve presente desde a primeira até a terceira etapa do grupo com uma frequência cada vez mais acentuada, muitos equívocos foram constatados. Defendemos que situar concepções dos alunos na “perspectiva selecionista” não necessariamente significa uma evolução conceitual que represente uma compreensão plausível do processo evolutivo segundo a Síntese Moderna. Algumas concepções comuns dessa zona de perfil conceitual foram:

- Um organismo sobrevivente é um organismo selecionado.
- Seleção natural é um evento único que atua sobre somente dois tipos de organismos: adaptado e não-adaptado.
- Perspectiva selecionista que supõe surgimento de variabilidade ao acaso.

Entendemos somente a “perspectiva selecionista que supõe surgimento de variabilidade ao acaso” como legítima dentro do quadro teórico da Síntese Moderna. Normalmente os estudantes se referem a um organismo como “selecionado” apenas considerando o fato de o organismo estar vivo. Normalmente esse equívoco decorre de ignorar a necessidade de variabilidade como um substrato para a atuação da seleção natural e da generalização da seleção natural como um processo onipresente que ocorre incessantemente em qualquer situação. Nas seguintes falas dos sujeitos de pesquisa, tal concepção é evidenciada:

> A3: Eles evoluíram juntos, né. Foram selecionados ué. [referente a planta e o polinizador]
>
> A5: então, mas aí se não selecionar, por que que vai perpetuar? Eu não sei, mas se não tivesse a seleção... É porque ai ele não taria selecionado e daí ele não iria passar para frente os genes dele.
>
> A3: ele tem que passar por uma mutação e essa diferença vai ser o que vai ser selecionado depois.
>
> A5: então porque se ele não for selecionado ele vai ficar lá com a mutação dele e aí?

Ainda na perspectiva selecionista, o entendimento da seleção natural como um evento único que atua sobre somente dois tipos de organismos, o adaptado e não-adaptado, pode ser evidenciada na fala abaixo:

> A5: porque se você tá selecionado quer dizer que o não selecionado morreu e ai você tá vivo e porque alguém foi selecionado e passou os genes e tá passando.
>
> A5: ele deteria ter mais um cuidado parental do que o outro e talvez por isso que se manteve, porque eles conseguem sobreviver mais.
>
> A3: os que tinham cabeça grande morriam e os que tinham cabeça pequena sobreviviam, então foi selecionado sempre aqueles que tinham cabeça menor [referente ao parto normal].
>
> A3: o pato adquiriu essa característica [...] ele adquiriu essa característica que foi viável porque ela protegia mais os ovos, ela conseguia proteger o ovo de qualquer forma e se perpetuou nisso por ele proteger o ovo.
>
> A1: [...] porque assim tinha alguns que não tinham, então a seleção favoreceu aqueles que tinham. Em uma determina época pode ter existido um que tivesse um diferente. [se referindo aos polegares opositores].

Para evidenciar as concepções da perspectiva selecionista que supõe a influência do acaso no surgimento da variabilidade, apresentamos as seguintes falas:

> A8: ao acaso surge uma mutação que vai fazer com que a bactéria se torne imune ao antibiótico.
>
> A5: ah, é ao acaso né. Se é um cabeçudinho que morreu, porque tava sem ar e ai nascia as crianças com cabeça menor, conseguiriam crescer, se desenvolver e se reproduzir e ai a partir disso todos, não todos né, os que nasciam com cabeça menor foram passando isso de geração para geração. [referente ao parto normal].
>
> A6: se for pensar as cobras que por uma mutação, talvez né, começaram a ter veneno mais potente foram as que sobreviveram na ilha, em relação às outras. [referente ao caso da jararaca ilhoa descrito na Metodologia desse trabalho].
>
> A8: talvez durante a população inicial já houvesse de algumas com veneno mais potente, algumas com veneno um pouco mais fraco. Até porque de indivíduo para indivíduo há sempre divergência e com essa pressão seletiva do próprio ambiente causou essa evolução na espécie local. [referente ao caso da jararaca ilhoa descrito na Metodologia desse trabalho].

Também para evidenciar a perspectiva selecionista que supõe a influência do acaso no surgimento da variabilidade, apresentamos novamente a seguinte sequência de falas:

> A8: uma linhagem de bactérias resistentes aos antibióticos se tornam majoritárias.
>
> A10: é quando você diminui a quantidade, as bactérias que são resistentes ganham mais espaço.
>
> A2: as que sobraram tecnicamente, são resistentes. Se reproduziram e passaram o material genético. Então de geração em geração elas terão material resistente.
>
> Eu: essa resistência, de onde veio?
>
> A2: de uma mutação.
>
> Eu: ela surgiu por quê?
>
> A2: porque na hora de dividir o material genético dela teve algum erro de divisão que gerou a mutação, que nesse caso foi benéfica para bactéria, que ai ela ficou resistente e ai a outra bactéria que não teve essa mutação ela morreu. Ai como ela morreu ela não vai perpetuar.
>
> Eu: você diz que a mutação ocorreu ao acaso?
>
> A2. É.
>
> A3: não só o acaso.
>
> Eu: o fato de ela ter permanecido não foi ao acaso?
>
> A2: não, mas o fato dessa mutação ter acontecido foi ao acaso".

Na perspectiva "Pluralismo de processos" os estudantes apontaram explicações não-seletivas para os traços biológicos ou então consideraram a seleção natural como uma hipótese a ser investigada.

Nas falas da sequência abaixo, os alunos tratam das restrições embriológicas:

> "A3: seleção natural atua sobre o que é viável no desenvolvimento. Mas se não for viável...
>
> A2: ela não vai ter nem a chance de ser selecionada.
>
> A3: porque o desenvolvimento não viabiliza todas as características que poderiam ser benéficas para determinado ser."

Alusivo à ação de genes reguladores do desenvolvimento, as seguintes falas podem evidenciar a concepção plural acerca dos traços biológicos:

> A2: "mas, por exemplo, se esse gene formar o rim e além do rim ele expressar um dedo vestigial aí vai ser viável. Não faz diferença, ou ele pode tirar o dedo depois, mas o rim que é vital ele vai ter."
>
> A6: "o apêndice pode estar ligado a outros genes né... ai ele não desaparece. Ele pode ter associação com genes que regulam outras partes do nosso corpo. Os mamíferos que tem a nossa ancestralidade, mas vamos pegar só os mamíferos, se eles têm

> apêndices, tudo bem que tem a função os herbívoros têm o apêndice maior. Tá, mas a gente às vezes não tem um motivo de ter o apêndice é por conta da nossa genética ser influenciada por nossos ancestrais também..."
>
> A6: esse comportamento que ela desenvolveu está associado a alguns genes vitais. Então ela não perdeu ele por conta disso.

Nas falas abaixo são evidenciadas as posições de crítica ao adaptacionismo:

> A10: fica parecendo mais que as pessoas têm ideias e não sabem classificar isso e falam que é seleção natural, mas não que a seleção natural é isso, mas que você pensa numa coisa ai você não tem um dado empírico para provar o que você tá dizendo ai você fala que é seleção natural.
>
> A3: [...] acho que se você recorre a um fenômeno para fazer uma regressão é uma hipótese, não tem como você afirmar. Você reúne evidências que te mostrem outras coisas.

Também no que se refere à perspectiva pluralista, podemos evidenciar (novamente) o posicionamento dos alunos na seguinte sequência de falas:

> Eu: evolução é sinônimo de seleção natural?
>
> A3: não.
>
> Eu: por quê?
>
> A3: a evolução atua de outros modos.
>
> A2: a seleção natural é um mecanismo.
>
> Eu: pode ocorrer fixação de uma característica sem seleção natural?
>
> A8: seleção artificial causada por nós, deriva genética...
>
> A6: é igual a questão do albinismo. Ele não foi selecionado, só ocorreu por conta de que eles se reproduziram entre eles. [se referindo ao caso do efeito fundador da ilha de lençóis apresentado a eles].
>
> A5: é verdade.
>
> A6: que é deriva, né. Não é seleção, né e permanece".

A análise dos dados realizada de forma separada no que diz respeito às zonas de perfil conceitual e à caracterização teleológica das falas foi uma opção determinada para avaliação dos dados com a justificativa de que não somente na perspectiva transformacional podem surgir formulações teleológicas. A explicação pode, por exemplo, atribuir teleologia à origem das mutações em uma perspectiva selecionista. Sendo assim, a análise quanto à teleologia precisaria estar separada da análise das zonas de perfil conceitual.

Como descrevemos no tópico 6.5 desse trabalho os tipos de concepções quanto ao emprego da teleologia para o entendimento do processo evolutivo foram classificadas em dois tipos:

- T1 - O processo evolutivo é dotado de antevisão;
- T2 - O processo evolutivo é progressivo.

As concepções teleológicas que explicam a evolução biológica como um processo dotado de antevisão (T1) são evidenciadas a seguir:

> A4: eu acho que a natureza tem bastante disso de é melhor sobrar do que faltar [Se referindo à flor com pólen desnecessário porque realiza partenogênese].
>
> A4: o organismo tá preparado para uma coisa: é aquilo de melhor sobrar do que faltar.
>
> A9: se ela fosse dependente de olhos ela ia desenvolver outros sentidos para continuar vendo naquele ambiente [se referindo aos organismos que vivem em cavernas].
>
> A10: no momento que a gente tá parece que não. A gente não sabe quanto tempo pode durar esse tipo de mutação. Se vai ocorrer mais vezes. Se num futuro longe vai exigir e não tem como a gente prever. Nesse momento não parece boa para o modo como a gente vive [referente às anomalias que ocorrem em embriões humanos].
>
> A2: vai saber se ele não tem uma tendência evolutiva dele no futuro ele poder ter um pólen que seja fértil, não estéril, entendeu? [Se referindo à flor com pólen desnecessário porque realiza partenogênese].
>
> A1: é que mais para frente necessite usar essas estruturas de novo... eu não sei [Se referindo à flor com pólen desnecessário porque realiza partenogênese].
>
> A2: mas a natureza é óbvio que ela vai preferir que tenha mais fêmeas do que mais machos porque um macho pode copular várias fêmeas.
>
> A2: uma coisa que eu pensei também é que não ocorreu nenhuma mutação que fosse mais adaptada quanto essa, então por isso que manteve essa característica [referente aos órgãos vestigiais]
>
> A3: independente do mecanismo que ocorrer uma hora vai ter que ser selecionado uma hora. Nesse exemplo da ilha, daqui sei lá milhões ou milhares de anos não vai ter mais se ocorrer não vai ter mais daquele jeito, vai ter que modificar, vai ser menor o número de albinos.
>
> A5: porque ela nunca precisou dessa fruta ele conseguia outra fonte [quando questionado acerca da inexistência de garras de um mamífero que permitiriam subir em árvores frutíferas].

As concepções teleológicas que explicam a evolução biológica como um processo progressivo são evidenciadas a seguir:

> A4: sempre que se fala em evolução, me vem à cabeça melhoramento.
>
> A2: mas as lampreias perderam o olho, então seria melhoramento?
>
> A1: acho que vai passando por toda a complexidade desde os mais simples até os mais complexos. [a aluna tenta definir a evolução por meio de tal consideração]

Quadro 8 - Distribuição das concepções individuais dos sujeitos de pesquisa do GPEB

Sujeitos	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Questionário
A1	**1** **T1** **T2**	*****	**2** **3**	**3**
A2	**2** **3** **T1**	**3** **4**	**-**	**-**
A3	**3** **T1**	**2** **3** **4**	**3**	**3** **4**
A4	**T1** **T2**	*****	**3**	**3**
A5	**2** **3**	**3** **T1**	**4**	**3** **4**
A6	**3**	**3**	**3** **4**	**3** **4**
A7	**2** **3**	**3**	**3**	**3** **4**
A8	**3** **4**	**-**	**-**	**-**
A9	**2** **3** **T1**	*****	*****	**3**
A10	**T1** **2** **3**	**3**	**4**	**3**
A11	**2** **T1**	**-**	**-**	**-**

Fonte: elaborado pela autora

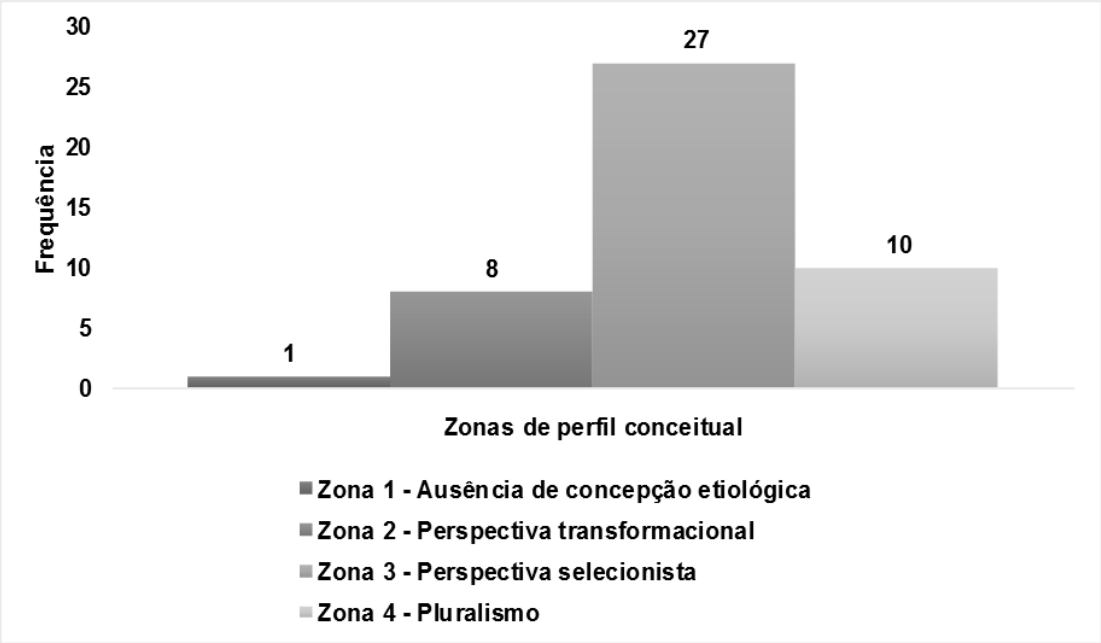
No questionário, os alunos atribuíram aos fenômenos propostos explicações selecionais ou pluralistas (observar última coluna do Quadro 8). Na quarta pergunta do questionário relativa à concepção de função, todos os alunos empregaram a concepção sistêmica de função, ou seja, não recorreram a narrativas selecionistas (neoteleologia) para explicar um traço.

O Quadro 8 inclui concomitantemente as zonas de perfil conceitual representadas por números de 1 a 4 (1-perspectiva analítica sincrônica, 2-perspectiva transformacional, 3-perspectiva selecionista e 4-pluralismo de processos) e as classificações quanto à teleologia, representadas por T1 e T2: *T1. O processo evolutivo é dotado de antevisão* e *T2. O processo evolutivo é progressivo*. Quando não há “T1” ou “T2”, significa que não houve formulações teleológicas durante a etapa.

No Quadro 8, o símbolo “-“ indica que o sujeito de pesquisa não participou da etapa. O símbolo “*” indica que o sujeito não emitiu declarações durante a etapa. O quadro não contém em todas as colunas análises completas de cada indivíduo, pois nem sempre os alunos faziam declarações longas que possibilitariam análise. No questionário os alunos não apresentaram nenhuma concepção teleológica.

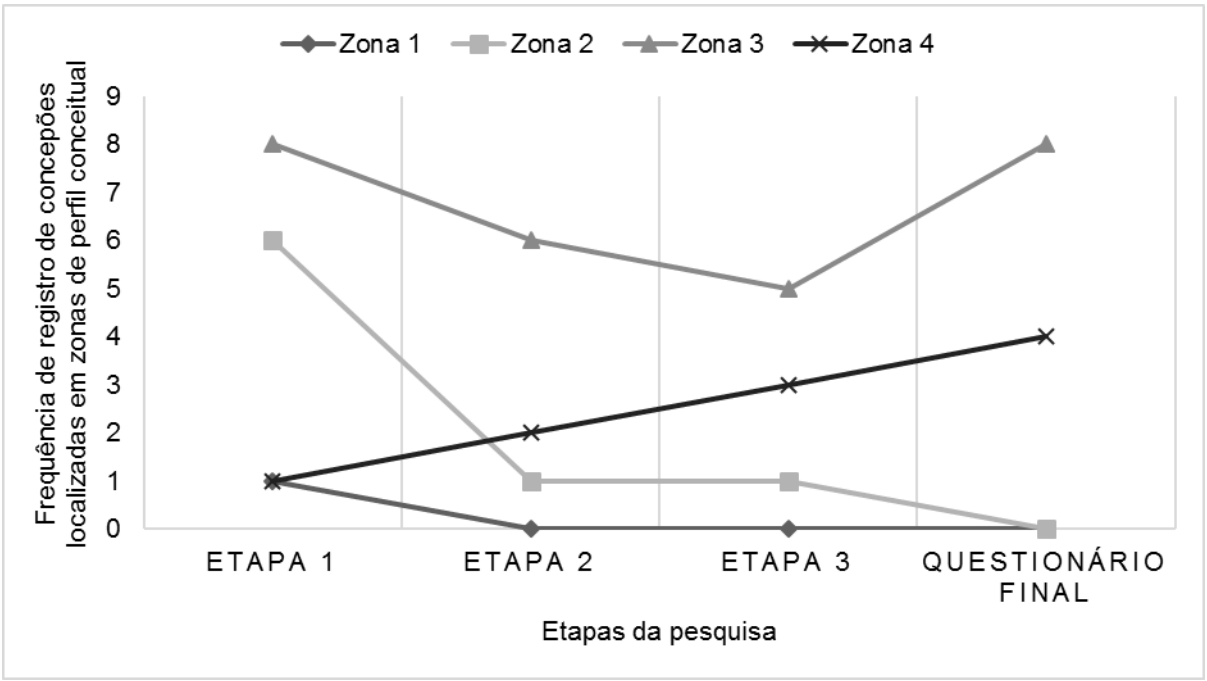
No Gráfico 1 – que exprime o número de vezes nas quais concepções categorizadas em zonas de perfil conceitual foram verbalizadas no total de etapas do grupo (Etapa 1 somada à Etapa 2, Etapa 3 e Questionário Final) – é possível afirmar que houve predominância de concepções categorizadas na perspectiva selecionista, que é seguida pela frequência de pluralismo de processos. Para tornar mais elucidativa a ilustração, também organizamos no Gráfico 2 o número de vezes de verbalizações de concepções que estão categorizadas nas zonas de perfil durante cada etapa.

Gráfico 1 – Frequência total (número de vezes nas quais foram registradas) das concepções (classificadas em cada uma das quatro zonas de perfil conceitual) dos sujeitos de pesquisa durante os encontros do GPEB.



Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 2 – Frequência (número de vezes nas quais foram registradas) das concepções (classificadas em cada uma das quatro zonas de perfil conceitual) dos sujeitos de pesquisa durante cada etapa dos encontros do GPEB

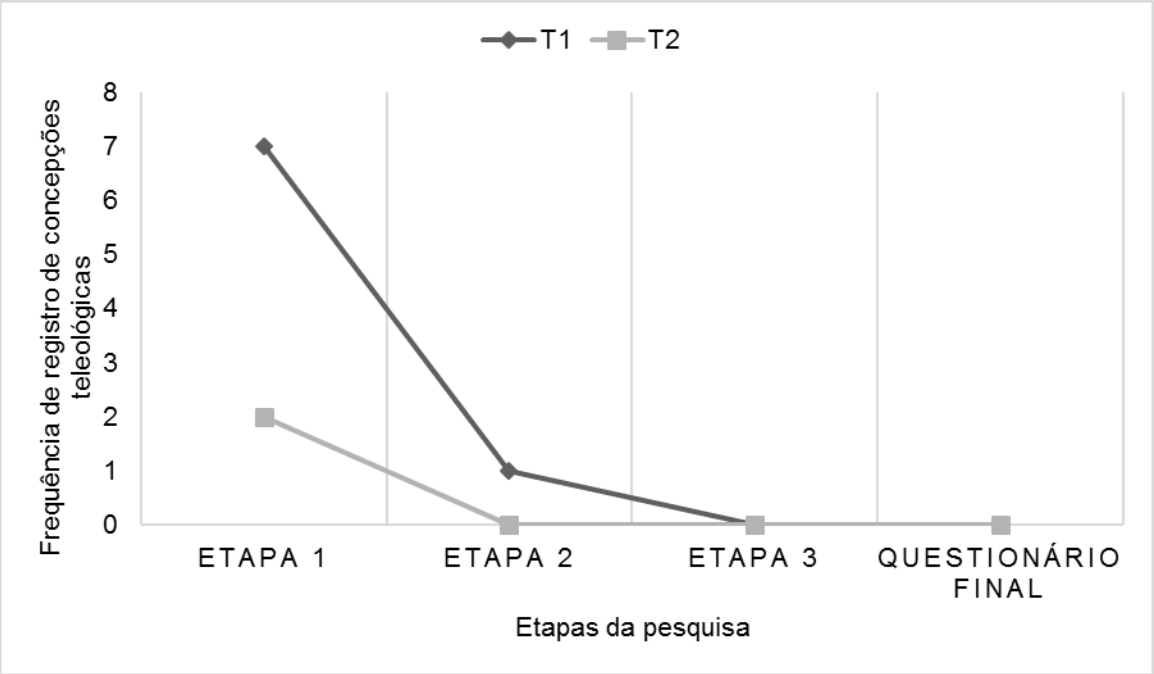


Fonte: elaborado pela autora

Percebe-se quantitativamente que houve redução de perspectivas da Zona 2 (perspectiva transformacional), que foi iniciada com muita frequência na primeira etapa, mas teve queda nas fases seguintes até deixar de aparecer por completo no questionário final. As concepções da perspectiva selecionista (Zona 3) eram frequentes na primeira fase, o que pode ser justificado pela predominância da perspectiva da Síntese Moderna introduzida nessa fase[56], mas volta a ter mais frequência no Questionário Final. A perspectiva pluralista aumentou em frequência desde a Etapa 2, mas não atingiu a mesma frequência da perspectiva selecionista nas etapas finais.

No Gráfico 3 objetivamos ilustrar numericamente a frequência de formulações teleológicas verbalizadas em cada uma das etapas do GPEB. Percebe-se mais frequência nas etapas iniciais e redução nas etapas subsequentes.

Gráfico 3 – Frequência de registro de concepções teleológicas T1 (O processo evolutivo é dotado de antevisão) e T2 (O processo evolutivo é progressivo)



Fonte: elaborado pela autora.

De forma geral, é possível afirmar que na evolução conceitual dos estudantes houve uma queda da frequência de perspectivas transformacionais e de formulações

[56] A partir de um exame do tópico 6.1 desse trabalho, no qual são tratadas as verbalizações do grupo de forma cronológica, é possível perceber que as concepções categorizadas em perspectivas transformacionais eram muito frequentes no início. As perspectivas selecionistas demoraram para começar a se concretizar no desenrolar da Primeira Etapa dos encontros do GPEB.

teleológicas, aumento de frequência de perspectivas selecionistas e, em menor quantidade, aumento de perspectivas pluralistas.

7 DISCUSSÃO

O cerne da discussão engendrada nesse trabalho é o emprego da teleologia à biologia, principalmente no que diz respeito à evolução biológica. A metodologia conduzida durante os encontros do GPEB estiveram contextualizadas no problema comumente observado no Brasil e no mundo referente às dificuldades que os alunos apresentam acerca da compreensão do processo evolutivo sob à luz dos conceitos da Síntese Moderna.

Para que fosse possível a formação de um posicionamento no que se refere ao emprego da teleologia na biologia, uma pesquisa referente à epistemologia foi necessária. Tratar de aspectos epistemológicos referentes à distinção entre causas próximas e últimas foi um requisito para fundamentar o conteúdo a ser introduzido nas discussões do GPEB, bem como aspectos epistemológicos referentes à biologia evolutiva.

Podemos dizer que a articulação entre epistemologia e didática se concretiza a partir da intersecção que se estabelece quando a fundamentação teórica, no que diz respeito às investigações epistemológicas, baliza a mediação didática.

No que diz respeito aos conceitos de seleção natural, deriva genética, mutação, recombinação gênica e pensamento populacional, muitos são os desafios para o ensino e aprendizagem de evolução biológica no Ensino Superior, como discutimos anteriormente. A situação é ainda mais problemática quando se considera a introdução de quadros teóricos contemporâneos ao ensino, como a biologia evolutiva do desenvolvimento (evo-devo). Como fizemos alusão anteriormente, são raras as vezes em que se observa nas formulações de graduandos a mobilização de conceitos provenientes da evo-devo (HIATT *et al*., 2013).

O selecionismo estrito parece ser o ponto no qual estudantes que compreendem pressupostos da Síntese Moderna frequentemente estacionam. Mesmo a deriva genética, que faz parte de um arcabouço teórico já consolidado à luz da Síntese Moderna é raramente mobilizada.

Ainda que a questão fulcral do trabalho estivesse voltada para o emprego de teleologia à evolução biológica, não gostaríamos de transpor o que chamamos

nesse trabalho como “obstáculo teleológico”, por meio de pressupostos restritos à Síntese Moderna, para que não contribuíssemos para uma estagnação em um selecionismo estrito, o que constituiria um “obstáculo neoteleológico”.

Assim, a incorporação de textos referentes à evo-devo no GPEB é justificada pela necessidade de fornecer formas explicativas múltiplas a respeito do processo evolutivo, para que os estudantes encontrem caminhos alternativos para estruturar formulações, e assim, possam extrapolar o selecionismo estrito. Também a incorporação de conteúdos referentes à evo-devo contribui para a compreensão da natureza do processo evolutivo, o que é muito importante para nossa questão central, que é a caracterização da evolução biológica como um processo desprovido de teleologia.

No que diz respeito à didática, a dinâmica de um grupo de pesquisas difere significativamente da dinâmica de uma sala de aula tradicional do Ensino Superior. Há uma relação bastante informal com relação à dinâmica estabelecida: os participantes se manifestam livremente e em todos os encontros durante as discussões havia alguns lanches que eram compartilhados por todos. Consideramos que em uma situação de aprendizagem como essa, os alunos têm mais liberdade de se expressar sem censuras, pois as “correções” eram feitas muitas vezes entre os próprios participantes ou eram feitas por mim de uma forma que instigava os participantes na busca pela resposta autônoma.

Os alunos demonstravam dificuldade para realizar formulações e constantemente pediam para que as ideias verbalizadas por mim ou pelos outros estudantes fossem faladas mais de uma vez, porque nem sempre era possível acompanhar a complexidade envolvida. É muito importante que os participantes tenham se sentido a vontade para realizar tal intervenção, pois, muitas vezes um discurso muito centrado no professor (em um formato de monólogo) não é interrompido para se resolver problemas como esse.

Defendemos que o ensino e aprendizagem de evolução, por ser alvo de tantos desentendimentos e problemas de compreensão, poderia ser realizado mais em moldes semelhantes a diálogos que em moldes de monólogos, para permitir a livre verbalização de pensamentos dos estudantes, o que permite a

problematização, interpretação e análise das formas plausíveis e das formas inadequadas de repostas para determinadas questões biológicas.

Para que a discussão não seja mediada por “respostas prontas” ou “respostas decoradas” dos estudantes, é necessária a introdução de questões que integrem vários conceitos para permitir a articulação conceitual na formulação de respostas. Percebemos a importância de solicitar interpretações de situações reais e hipotéticas, principalmente quando os estudantes apontavam que não somente a seleção natural atuava no processo evolutivo, mas em seguida interpretavam um fenômeno por selecionismo estrito.

Esmiuçar epistemologicamente as possibilidades discursivas acerca de formulações biológicas adequadas é um processo importante para a formação inicial do graduando, visto que se considerarmos a linguagem como um meio que viabiliza o ensino, o professor em formação precisa aprender acerca da cautela e vigilância que devem ser desenvolvidas para a prevenção e remediação de distorções conceituais que a linguagem coloquial e os “atalhos” representados por simplificações de discurso podem causar.

Para fundamentar os aspectos epistemológicos que seriam introduzidos ao GPEB, um estudo acerca da dualidade de causas próximas e últimas foi realizado. Não somente no que diz respeito ao trabalho de Ernst Mayr (2008), mas também no que diz respeito às críticas direcionadas a tal dualidade. O estudo acerca das críticas à obra de Mayr foi importante, visto que incluem considerações referentes ao arcabouço teórico contemporâneo da evolução biológica, o que auxiliou a formação de um posicionamento acerca da aceitação ou rejeição da dualidade de Mayr.

A crítica de Laland *et al*. (2011; 2013) refere-se à discordância da dicotomia de causas próximas e últimas, visto que os autores defendem que há uma causalidade recíproca entre ecologia e evolução e que tal intersecção deve subsidiar o entendimento da dinâmica do processo evolutivo.

Porém, por meio da leitura de Calcott (2013), pudemos inferir algumas considerações acerca da dualidade de Mayr. Calcott (2013) defende que a dimensão de causas últimas está simplificada e precisaria do acréscimo de uma distinção entre fatores diacrônicos populacionais (seletivos) e diacrônicos individuais (evo-devo). O

autor não realizou modificações nas causas próximas, que se manteve somente com os fatores sincrônicos individuais. Nós construímos, com base no ensaio de Caponi (2011) a inferência de que para incluir as contribuições de ambos os autores, seria possível aumentar o poder explicativo e elucidativo da dualidade de causas próximas e últimas com o acréscimo de mais uma categoria às causas próximas: os fatores sincrônicos populacionais (ver quadro 9). Trata-se de uma ressignificação de "causas próximas", visto que Mayr a entendeu como constituída apenas por aspectos orgânicos.

Quadro 9. Fatores analisados por causas próximas e últimas (ver mais no tópico 4.1.1 desse trabalho)

Causas próximas	**Causas últimas**
Sincrônico e individual	Diacrônico e individual
Sincrônico e populacional	Diacrônico e populacional

Fonte: elaborado pela autora

Por meio da discriminação de fatores "sincrônicos-populacionais" podemos discutir fatores ecológicos que tem repercussões evolutivas no que denominamos como fatores "diacrônicos-populacionais". E por meio da distinção de "sincrônico e individual" podemos tratar da fisiologia e ontogenia dos organismos para descrever as repercussões que tanto inovações quanto restrições às inovações da forma reverberam evolutivamente nos fatores "diacrônicos-individuais". De forma geral, passamos a ressignificar causas próximas e últimas por critérios de localização temporal: os fatores que residem em um único ponto no tempo são representados pelas *causas sincrônicas* ou causas próximas (fatores moleculares, genéticos, ontogenéticos, comportamentais e ecológicos de um dado momento que tratam de explicações funcionais), e os fatores que residem em diferentes momentos em uma escala temporal são representados pelas *causas diacrônicas* ou causas últimas (fatores moleculares, genéticos, ontogenéticos, comportamentais e ecológicos de diferentes momentos de uma escala temporal que tratam de explicações históricas).

Podemos pensar por exemplo nas causas sincrônicas referentes à diferença no número patas de insetos e de crustáceos: o gene *Hox Ubx* em insetos, como a

Drosophila, é expresso no abdome, enquanto em crustáceos, como a *Artemia*, é expresso no eixo principal do corpo. O gene *Ubx* suprime a formação de patas em insetos, mas não nos crustáceos, assim, insetos tem seis patas, enquanto crustáceos tem mais. Os dados empíricos apontam que há diferenças entre aminoácidos que são originados por insetos e crustáceos e que tais aminoácidos são responsáveis pelas diferenças de supressão de membros adicionais em insetos (CAMPBEL; REECE, 2010). Trata-se de análises sincrônicas referentes às diferenças de número de patas desses grupos. Porém, se o cientista busca a origem de tal modificação em cada um dos grupos (insetos e crustáceos), cujos genes *Hox* evoluíram independentemente por 400 milhões de anos (*ibid*.), trata-se de causas diacrônicas dos traços vivos em questão.

Também é possível exemplificar com o caso no qual é feita a comparação entre crescimento de crânios de chimpanzés e humanos: é possível perceber que há muita semelhança entre os crânios de fetos, porém, devido ao crescimento da mandíbula e da maxila ser acelerado em chimpanzés, é produzido um crânio alongado e uma testa angular em chimpanzés adultos (CAMPBEL; REECE, 2010). Trata-se de diferenças que estão sendo explicadas à luz de causas sincrônicas (fatores ontogenéticos). Porém, se o cientista se dedica a explicar em que momento houve heterocronia (“mudança evolutiva na taxa ou no tempo dos eventos de desenvolvimento”) (*ibid*., p. 525), trata-se de explicar as causas diacrônicas (evolutivas) das diferenças entre crânios humanos e de chimpanzés.

Outro exemplo que pode ilustrar as diferentes análises causais a serem feitas é o caso da aves tetrazes-das-pradarias (*Tympanuchus cupido*) de Illinois, nos Estados Unidos. Após a conversão de pradarias em lavouras e pastagens, os tetrazes passaram a uma população de apenas 50 indivíduos, com baixos níveis de eclosão de ovos (somente 50% dos ovos eclodiam). Os dados empíricos apontam que tetrazes (obtidos em museus) de uma população original de 25.000 indivíduos possuíam nove alelos adicionais em relação aos tetrazes atuais. Por “efeito gargalo” (diminuição drástica do tamanho de uma população por mudanças repentinas no ambiente), ou seja, deriva genética, a população de tetrazes sofreu redução de variabilidade genética, o que aumentou a frequência de alelos deletérios e diminuiu a eclosão de ovos (CAMPBEL; REECE, 2010). Tal análise, por ser mediada por

comparações entre indivíduos de diferentes momentos no tempo, pode ser entendida como uma causa diacrônica para a menor eclosão de ovos da população de tetrazes de Illinois. Porém, se fizéssemos uma análise comparando a porcentagem de eclosão de ovos de tetrazes de Illionois (que sofreu efeito gargalo) com a porcentagem de Kansas, Nebraska ou Minnesota, onde as populações não sofreram efeito gargalo e têm tamanhos populacionais maiores (750.000, 200.000 e 4.000 indivíduos, respectivamente) e buscássemos o número de alelos deletérios em cada população como explicação para as diferentes porcentagens de eclosão (menos de 50% em Illinois e mais de 85% nas demais localidades) (*ibid*.), trata-se de buscar a causa sincrônica para a baixa porcentagem de eclosão de ovos dos tetrazes de Illinois.

É possível realizar análises individuais (aqui entendida como a análise relativa ao indivíduo ou ao organismo) ou populacionais em cada uma das causas, seja sincrônica ou diacrônica. Nos exemplos das patas de insetos e crustáceos e do crânio de humanos e chimpanzés, tratamos explicitamente da morfofisiologia do organismo. Porém, no exemplo dos tetrazes, além de aspectos genéticos (que seriam referentes ao organismo – análise individual), também tratamos de aspectos ecológicos, como a redução da pradaria que resultou na perda de variabilidade genética e alterou a distribuição populacional dessas aves. Pode-se dizer que nos dois primeiros exemplos houve maior ênfase nas causas individuais (sincrônicas e diacrônicas), enquanto no terceiro exemplo houve maior amparo nas causas populacionais para se tratar de causas sincrônicas e diacrônicas para o aspecto vivo a ser explicado (porcentagem de eclosão de ovos).

Tal forma interpretativa condiz com a proposta de Jun Otsuka (2015) que, ao estudar as relações entre causas próximas e últimas em modelos matemáticos, concluiu que se pode traduzir um mecanismo causal próximo em consequências evolutivas, o que não implica irrelevância da dualidade de Mayr, pois se trata de dois fatores causais distintos (causa próxima e causa última), mas intimamente intrincados.

O conceito de função, também investigado para subsidiar um posicionamento no que diz respeito ao emprego da teleologia nas causas próximas, foi estudado à luz da dicotomia consolidada na literatura entre conceito etiológico de função (ou

função do “efeito selecionado”) *versus* conceito analítico de função (ou conceito sistêmico de função, ou ainda “papel causal”). A importância da compreensão estabelecida entre tal dicotomia está no reconhecimento da crítica atribuída ao conceito etiológico de função no que diz respeito ao selecionismo estrito, e, ao comprometimento altamente hipotético e especulativo das explicações etiológicas de função.

Como exploramos anteriormente, dizer que um traço tem determinada função porque foi selecionado por desempenhar tal função, é supor que as pressões seletivas sofridas por determinada população coincidem com o alvo da função daquele traço, e antes disso, é supor que determinada população sofreu um processo de seleção natural. Outra crítica refere-se à possibilidade de um traço ter desempenhado várias funções ao longo das linhagens desde o seu surgimento, o que implicaria um raciocínio hipotético equivocado acerca da origem do traço. Também há de se considerar a pleiotropia como possível explicação para a permanência de traços em linhagens, o que seria uma explicação alternativa à explicação do “efeito selecionado” (AMUNDSON; LAUDER, 1994).

A contribuição das críticas à concepção etiológica de função para o GPEB está relacionada com a possibilidade de questionar a plausibilidade de construir narrativas retroativas sem investigações empíricas[57].

Assentimos a posição de adoção da concepção analítica (ou sistêmica) de função, visto que localiza uma função dentro do tempo ontogenético dos indivíduos (CAPONI, 2012), o que permite a incorporação de teleologia às explicações funcionais, sem compromissos com a biologia evolutiva.

A fundamentação teórica no que diz respeito ao emprego da teleologia na biologia foi realizada para que pudéssemos delinear o que uma explicação teleológica pode significar em biologia e em quais aplicações seria equivocada. Pudemos apresentar argumentos a respeito da defesa da teleologia para a

[57] Não obstante pesquisas empíricas sejam incapazes de reconstruir histórias evolutivas na totalidade de seus processos, evidências levantadas podem por em questão algumas teorias seletivas e podem balizar o estudo e a compreensão de outras teorias alternativas (que podem ou não estar relacionadas com a seleção natural). Fundamentada em evidências, teorias evolutivas (seletivas ou não) podem estar mais próximas do entendimento das causas remotas dos traços vivos do que as hipóteses seletivas sem dados empíricos que muitas vezes tomam um status de “teoria”.

interpretação de aspectos fisiológicos e ecológicos da biologia (TOEPFER, 2012; CAPONI, 2012; MOSSIO; BICH, 2014)

Devido à importância da proposta de Mayr (2005) no que se refere às cinco categorias de teleologia, exploramos a descrição de cada categoria e fizemos a exposição de algumas críticas referentes (a) à imprecisão das categorias, (b) ao selecionismo estrito da proposta e (c) à centralização no genoma do indivíduo como explicação para a autodeterminação.

A síntese referente à adequação e inadequação do emprego de teleologia para a interpretação da natureza foi viabilizada pela distinção entre

A) Interpretações teleológicas plausíveis: causa próxima (sincrônica e individual), causa próxima (sincrônica e populacional), procedimentos propositais, objetos artificiais em geral e artefatos.

B) Interpretações teleológicas equivocadas: causa última (diacrônica e populacional), causa última (diacrônica e individual), matéria inanimada e teleologia cósmica.

As intervenções realizadas no GPEB, com a finalidade de viabilizar aos participantes a capacidade de distinguir contextos apropriados para diferentes usos de abordagens teleológicas, estiveram fundamentadas na mudança de perfil conceitual de Mortimer (2000), uma vez que não almejávamos suprimir concepções dos alunos para substituir por “concepções corretas”. Nosso intuito foi o de problematizar quais formas de teleologia seriam plausíveis e compatíveis com um modelo científico de entendimento da função, ecologia e evolução biológica.

Para amparar a interpretação das concepções dos alunos, utilizamos a fundamentação de um perfil conceitual do conceito de adaptação de Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2013) e esmiuçamos alguns compromissos ontológicos (CHI, 1992; FERRARI; CHI, 1998) relativos ao entendimento equivocado do processo evolutivo.

Ferrari e Chi (1998) se dedicaram a descrição dos compromissos ontológicos envolvidos nas dificuldades de aprendizagem da seleção natural e apontaram como central o fator da categorização ontológica equivocada da seleção natural como um

processo do tipo “evento” e não como um “processo de equilibração”. Assim, a seleção natural é entendida pelos estudantes como um processo com começo e fim, dotado de objetivos.

É possível inferir que, conforme os dados do GPEB apontaram, os alunos também tendem a atribuir propriedades ontológicas equivocadas também ao conceito de adaptação. Como pontuamos anteriormente, Caponi (2012) introduziu uma importante distinção entre os termos “caráter” e “configuração”/“parte”. Para o autor um caráter “é sempre uma diferença ou uma semelhança entre linhagens” (p. 71) enquanto parte ou configuração designa a “conformação de um organismo particular” (p. 17); ou seja, “uma adaptação não é uma estrutura que cumpre uma função, é o estado derivado de um caráter, uma apomorfia resultante da seleção natural” (*ibid*., p. 75).

A adaptação por ser um “caráter” (comparação entre linhagens) deve ser entendida à luz de uma perspectiva notavelmente diacrônica, que resulta de uma história evolutiva de seleção natural. Já a “configuração” ou a “parte” de um organismo (nesse trabalho também tratados como sinônimos de “traço”) podem ser entendidas em uma perspectiva sincrônica, passível de análises funcionais.

Os estudantes, nas formulações verbalizadas durante os encontros do GPEB, tratam a adaptação como uma conformação do organismo. Sendo assim, se forma uma dicotomia entre “estar adaptado” e não “estar adaptado”. Tal tipo de concepção, que supõe a adaptação não como um caráter derivado (perspectiva diacrônica), mas como um estado do organismo (perspectiva sincrônica), pode favorecer o entendimento da seleção natural como um “evento”: a seleção escolhe abruptamente entre os dois tipos o “adaptado” e o “não-adaptado” de forma a aumentar o tipo adaptado para atingir seu estado final.

A conceituação da adaptação é importante para que os estudantes possam perceber as propriedades ontológicas da adaptação evolutiva e para que possam situá-la em formulações diacrônicas, pois, quando os alunos atribuem formulações sincrônicas à adaptação, tendem a entender que um organismo que não foi extinto é um “organismo adaptado” e tendem a supor que esse organismo provém de uma população que já sofreu pressões seletivas.

Como tentamos expor, várias são as dificuldades de aprendizagem de evolução biológica. Há visões de que a evolução biológica tende ao progresso, ao aumento de complexidade, ou ao melhoramento; há explicações que dispensam a necessidade de atribuir explicações evolutivas aos traços biológicos; há mobilização da lei do uso e desuso e dos caracteres adquiridos como mecanismos plausíveis do processo evolutivo; há visões de que a seleção natural é um agente ativo e intencional, há ideias de que as mutações são sempre benéficas e de que surgem nos organismos segundo a necessidade; há ideias essencialistas que pressupõe mudança em todos os indivíduos de uma população concomitantemente; e outras.

A teleologia pode representar um grande leque que abrange várias das dificuldades de aprendizagem da evolução biológica, por ser uma propriedade ontológica equivocada atribuída ao processo evolutivo. Como consideram Ferrari e Chi (1998) a categorização ontológica equivocada é grave, pois o estudante tende a associar outras propriedades equivocadas que acompanham determinada categoria ontológica.

Embora represente uma dificuldade de aprendizagem relevante, não defendemos a rejeição ou censura da teleologia no ensino. Há dois motivos principais que impedem tal posicionamento: (1) o raciocínio humano desde a infância é mediado por pensamentos teleológicos (KELEMEN, 2012) e (2) não há forma de extinguir completamente o pensamento teleológico das Ciências Biológicas (GALLI; MEINARDI, 2011; ZOHAR; GINOSSAR, 1998). No que tange a este último motivo, é importante ressaltar que o pensamento teleológico sempre vai estar presente na biologia porque há organismos vivos que tem comportamentos propositais, como os seres humanos, capazes de comportamento teleológico. Além disso, a seleção artificial realizada pelo homem representa de forma muito notável como a teleologia pode direcionar caminhos evolutivos, pois o homem seleciona ativamente e intencionalmente algumas variáveis e outras não, segundo critérios de seus interesses. Assim, ainda que um determinado autor discorde da adequação da teleologia para o entendimento de processos fisiológicos e ecológicos, ainda haverão as situações supracitadas que legitimam o emprego da teleologia a algumas explicações biológicas.

Galli e Meinardi (2011) consideram que para que os estudantes encontrem com autonomia os empregos adequados e inadequados de teleologia para a biologia, é preciso explicitar concepções subjacentes ao pensamento dos estudantes. O próprio obstáculo teleológico pode ser conceituado e esmiuçado para promover a capacidade de reconhecimento da inadequação do emprego de teleologia para a interpretação de alguns aspectos biológicos, como a biologia evolutiva. Optamos por realizar uma mediação didática em consonância com a proposta dos autores, visto que discutimos no GPEB o conceito de teleologia e as aplicações apropriadas e inapropriadas à biologia.

No início, foi possível perceber que os estudantes empregavam termos próprios da biologia evolutiva arbitrariamente e demonstravam pouca familiaridade com conceitos como “mutação” e “seleção natural”, talvez em consequência dos modelos de ensino tradicionais que centralizam o ensino na fala do professor e há pouco ou nenhum espaço para que os estudantes verbalizem as próprias ideias.

Também houve dificuldade, no início, no que diz respeito a distinguir adaptações fisiológicas de adaptações evolutivas, o que se caracteriza como uma categorização ontológica equivocada. Nesse período inicial do GPEB, alguns alunos consideravam princípios lamarckistas plausíveis, outros consideravam que “a natureza” frequentemente fazia “reservas” de órgãos vestigiais para poder enfrentar desafios futuros (o que se caracteriza como uma espécie de teleologia cósmica, ou como o pressuposto de que a evolução é dotada de antevisão).

Alguns alunos apontavam insistentemente funções para órgãos vestigiais tendo “salvá-los da inutilidade” (o que se caracteriza por uma interpretação utilitarista da natureza). Havia bastante dificuldade no que diz respeito à diferenciação entre (a) evolução biológica, (b) seleção artificial e (c) mutação. Os alunos não articulavam corretamente os conceitos e teorias.

Foi frequente na primeira etapa a alusão à seleção natural de forma simplificada, sem rigor ou precisão, assim como foi frequente a mistura de processos de causas próximas e últimas.

Ao final da primeira etapa, os alunos estruturavam as narrativas seletivas com mais detalhes, incluíam uma variabilidade como requisito para que a seleção

atuasse e era unanimidade a ideia de que as mutações surgem ao acaso. A partir da segunda etapa os participantes mobilizavam outras explicações que não as seletivas (deriva, evo-devo ou pleiotropia), porém somente quando eram instigados a procurar outras formas mais plurais de explicação.

As narrativas transformacionais e teleológicas se tornam menos frequentes e, na segunda e terceira etapas, as formulações teleológicas não ocorreram mais. Os alunos preferiam, na maioria das vezes, formular explicações seletivas e em outras vezes também citavam pleiotropia, deriva genética e evo-devo como explicação aos traços biológicos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As contribuições epistemológicas e didáticas, que se tornaram possíveis por meio da articulação entre a investigação teórica e a investigação empírica que foram realizadas, podem ter importância na formação inicial dos graduandos em licenciatura de Ciências Biológicas, visto que a vigilância epistemológica ou a metacognição balizadas em estudos epistemológicos que podem ser viabilizados por tais discussões e intervenções contribuem para fundamentar as escolhas didáticas do professor.

A viabilização de um aporte teórico que fundamente tais escolhas precisa considerar a natureza sistêmica das Ciências Biológicas, o que pode ser proporcionado por meio da problematização de situações biológicas que envolvam várias dimensões a serem exploradas, como causas próximas e causas últimas e suas intersecções.

A atuação docente pode ser subsidiada por modelos de ensino que funcionam como mapas gerais de situações a serem enfrentadas na sala de aula (PARRA, 2002), mas também pode ser subsidiada por discussões epistemológicas acerca do objeto de estudo da área da ciência em questão, a biologia. O entendimento de características epistemológicas e ontológicas acerca das ciências biológicas pode favorecer a formação de um discurso preciso e compatível com os modelos científicos.

Como consideram Bastos *et al*. (2004) durante os processos de ensino e aprendizagem há situações nas quais o professor define um ponto de chegada, mas o estudante pode se desviar por caminhos que o levam para outro ponto de chegada. Os autores denominam tal processo como “distorção”, que consiste na construção que o estudante faz de uma versão alternativa para conceitos científicos estudados, que ainda que ele não perceba, pode estar discrepante do modelo científico.

Bastos *et al*. (2004) explicam que as distorções podem estar envolvidas com o uso de termos e expressões que podem não ter significados compartilhados por diferentes membros do grupo (professor e aluno). Os autores defendem que é importante que o professor esteja atento não só às concepções alternativas que os

alunos possuem a respeito de determinado tema, mas, sobretudo que estejam atentos às concepções que os alunos têm durante o próprio processo de aprendizagem. É sugerido que o processo de revisão das concepções seja mediado por explicitação, problematização e reestruturação das ideias que sejam consideradas inadequadas e que representam distorções.

No que diz respeito ao ensino e aprendizagem de evolução biológica, Galli e Meinardi (2011), consideram que o modo como os cientistas se referem à evolução contribui significativamente para a predisposição dos alunos às explicações teleológicas. Do mesmo modo, Gregory (2009) aponta que materiais didáticos e professores mobilizam uma linguagem que favorece um mau entendimento do processo evolutivo, principalmente quando encurtam um raciocínio ao trocar termos próprios da área de estudo por termos coloquiais ou expressões cotidianas como “a seleção natural escolheu”, “a seleção natural favoreceu” ou “o organismo foi selecionado *para*”. Para Gregory, formulações como essas são “atalhos” da linguagem que podem culminar em uma compreensão teleológica ou antropomórfica do processo evolutivo.

Ratificamos a defesa da ideia de que para que haja “explicitação, problematização e reestruturação das ideias que sejam consideradas inadequadas” (como propõem Bastos *et al*., 2004) um modelo tradicional de aula que preconize a verbalização de ideias do professor e não do aluno, pode desconsiderar as concepções que os alunos desenvolvem em função da intervenção realizada no processo da mediação didática.

Pensando a formação inicial dos graduandos que cursam licenciatura, os espaços que permitem a livre expressão de concepções para que sejam explicitadas, problematizadas e recontextualizadas podem ser fomentados. Trata-se de um ponto muito importante da formação dos graduandos, pois as formulações teleológicas podem estar associadas a vários compromissos epistemológicos e ontológicos incompatíveis com o modelo científico referente à biologia evolutiva. Se o professor em formação subsidia o próprio raciocínio com pressupostos teleológicos, provavelmente haverá evidências de teleologia em seu discurso, o que pode prejudicar a aprendizagem dos seus futuros alunos.

Assentimos nos tópicos anteriores o emprego da teleologia na interpretação da biologia funcional e ecológica, mas rejeitamos o emprego da teleologia na interpretação da biologia evolutiva por seleção natural, deriva genética ou evo-devo. Em suma, consideramos adequado o emprego de teleologia às causas próximas, mas não às causas últimas.

Embora Caponi (2001) e Sepúlveda; Nunes-Neto e El-Hani (2011) tenham considerado plausível admitir que explicações darwinistas possam ser apropriadamente interpretadas à luz de teleologia, gostaríamos de ressaltar que em nossa discussão, o que os autores consideram como os aspectos darwinistas da investigação de adaptação ["designar uma estrutura orgânica, um padrão de comportamento ou um processo fisiológico como sendo o meio ou o mecanismo para realização de uma determinada função ou propósito" (SEPÚLVEDA; NUNES-NETO; EL-HANI, 2011, p. 5)], estamos classificando na categoria "sincrônica populacional" de causas próximas, que representa a ecologia. Desenrolada ao longo do tempo, pode resultar em mudança evolutiva ou em adaptação, mas não necessariamente. Assim, admitimos também a interpretação teleológica de tais fatores ecológicos que podem ter ou não reverberações evolutivas, assim como os autores.

Pudemos constatar que as concepções dos graduandos permanecem arraigadas em pressupostos lamarckistas ou em pressupostos teleológicos, em consonância com pesquisas anteriores (CESCHIM; OLIVEIRA; CALDEIRA, 2015) e com pesquisas consultadas na literatura que apontam para as mesmas dificuldades de aprendizagem. Há de se considerar que se a aprendizagem de evolução prossegue deficiente no Ensino Superior, no que diz respeito à licenciatura, é preciso voltar os olhos para a formação continuada de professores que estão atuando no ensino e para a projeção de novas formas de viabilizar a expressão de concepções durante o processo de ensino ainda na formação inicial, para permitir a recontextualização de concepções inapropriadas no que diz respeito à evolução.

A dissertação esteve centrada no estudo referente ao nível de Ensino Superior, mas as implicações da fundamentação teórica engendrada não estão restritas a esse nível de ensino, pois se trata de uma questão que pode representar

uma dificuldade de aprendizagem em várias faixas etárias e em vários níveis de ensino, como explicitamos anteriormente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. M. R.; EL-HANI, C. N. Um exame histórico filosófico da biologia evolutiva do desenvolvimento, **Scientiae Studia**, v.8, n.1, p. 9-40, 2010.

ALVES, Rubem. Filosofia da Ciência: introdução ao jogo e suas regras. São Paulo: Editora Brasiliense, 1992.

AMARAL, Edenia Maria Ribeiro do; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. 2001. III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação Em Ciências, 2001, Atibaia, **Atas do III Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Atibaia: ABRAPEC, 2001.

AMUNDSON, Ron; LAUDER, George V. Function without purpose. Biology and Philosophy, v. 9, n. 4, p. 443-469, 1994.

ANDRADE, Mariana A. Bologna Soares de; FIORIN, Fernando Gianetti; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Ideias sobre evolução de professores de biologia em formação inicial. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n. extra, p. 424-428, 2013.

ANDRADE, Mariana A. Bologna Soares; BRANDO, Fernanda da Rocha; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; JUSTINA, Lourdes Aparecida Della; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Epistemologia da Biologia: uma proposta didática para o Ensino de Biologia. In: ARAUJO, Elaine S. Nicolini Nabuco; CALUZI, João José; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Práticas Integradas para o Ensino de Biologia**, São Paulo, Escrituras Editora, 2008, p.13-36.

ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares. **A epistemologia da biologia na formação de pesquisadores: compreensão sistêmica de fenômenos moleculares**. 2011, 233 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2011.

ARAUJO, Aldo Mellender de. Síntese evolutiva, constrição, ou redução de teorias: há espaço para outros enfoques?. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, n. 1, p. 5-19, 2006.

ARAÚJO, Leonardo Augusto Luvison; ARAÚJO, Aldo Mellender de. Por que o desenvolvimento ontogenético foi tratado como uma “caixa preta” na síntese

moderna da evolução?. **Principia: an international journal of epistemology**, v. 19, n. 2, p. 263-279, 2015.

BACHELARD, Gaston; PESSANHA, Jose Americo Motta. **A filosofia do não: O novo espírito científico**: A poética do espaço. Abril Cultural, 1979.

_____. **A formação do espírito científico**. Tradução Estela dos Santos Abreu. Rio de janeiro: Contraponto Editora, 1996.

_____. **A epistemologia**. Tradução Fátima Lourenço Godinho; Mário Carmino Oliveira. 1. ed. Lisboa: Edições 70, 2006.

BARDAPURKAR, Abhijeet. Do students see the “selection” in organic evolution? A critical review of the causal structure of student explanations. Evolution: **Education and Outreach**, v. 1, n. 3, p. 299-305, 2008.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução Luís Antero Reto; Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70 LDA, 2011.

BASTOS, Fernando; NARDI, Roberto; DINIZ, Renato Eugênio da Silva Diniz; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade Caldeira. Da necessidade de uma pluralidade de interpretações acerca do processo de ensino e aprendizagem em Ciências: revisitando os debates sobre construtivismo. **Pesquisas em ensino de ciências: contribuições para a formação de professores**, v. 5, p. 9-55, 2004.

BITTENCOURT-DOS-SANTOS, Wellington. Análise de livros didáticos e validação de sequência didática sobre pluralismo de processos e evo-devo no contexto do ensino de Zoologia de Vertebrados, 2011, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. **Ensino de evolução e história do darwinismo**, 1991, Tese (Doutorado), Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

BIZZO, Nelio; EL-HANI, Charbel Niño. O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, n. 1, p. 235-257, 2009.

BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari Knopp. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Portugal: Porto Editora, 1994.

BOURDIEU, Pierre; CHAMBOREDON, Jean-Claude; PASSERON, Jean-Claude**. A profissão de sociólogo: preliminares epistemológicas**. Tradução Guilherme João de Freitas Teixeira. Petrópolis: Vozes, 1999.

BOWLER, Peter J. Malthus, Darwin, and the concept of struggle**. Journal of the History of Ideas**, v. 37, n. 4, p. 631-650, 1976.

BRAKEFIELD, Paul M. Evo-devo and constraints on selection. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 7, p. 362-368, 2006.

BRANDO, Fernanda da Rocha. **Proposta didática para o ensino médio de biologia: as relações ecológicas no cerrado**. 2010. 221 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2010.

CALCOTT, Brett. Why how and why aren't enough: more problems with Mayr's proximate-ultimate distinction. **Biology & Philosophy**, v. 28, n. 5, p. 767-780, 2013.

CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Didática e Epistemologia da Biologia. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; ARAUJO, Elaine S. Nicolini Nabuco. **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras Editora, 2009, p. 73-86.

CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; BASTOS, Fernando. A didática como área de conhecimento In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; ARAUJO, Elaine S. Nicolini Nabuco. **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras Editora, 2009, p.13-33.

CALLEBAUT, Werner; MÜLLER, Gerd B.; NEWMAN, Stuart A. The organismic systems approach: evo-devo and the streamlining of the naturalistic agenda. In: SANSOM, Roger; BRANDON, Robert N. **Integrating evolution and development: from theory to practice**. Cambridge: MIT Press, 2007, p. 25-92.

CAMPBELL, Neil A.; REECE, Jane B. *et al*. **Biologia**. 8. ed. Tradução Anne D. Villela *et al*., Porto Alegre: Artmed, 2010.

CAPONI, Gustavo. Biología funcional vs. Biología evolutiva. **Episteme**, v. 12, p. 23-

46, 2001.

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

_____. Aproximação epistemológica à biologia evolutiva do desenvolvimento. In: ABRANTES, Paulo C. **Filosofia da Biologia**, Porto Alegre: ARTMED, 2011, p.211-223.

_____. **Função e desenho na biologia contemporânea**. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, 2012.

CARMO, Ricardo Santos do; NUNES-NETO, Nei Freitas; EL-HANI, Charbel Niño. Explicações Funcionais em Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2009, Florianópolis, **Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino em Ciências**, Florianópolis: ABRAPEC, 2009, p. 01-12.

CARMO, Ricardo Santos do; NUNES-NETO, Nei Freitas; EL-HANI, Charbel Niño. É legítimo explicar em termos teleológicos na biologia?. **Revista da Biologia**, v. 9, n. 2, p. 28-34, 2012.

CARMO, Ricardo Santos do; NUNES-NETO, Nei Freitas; EL-HANI, Charbel Niño. Teleologia, função e ensino de Biologia. **Acta Scientiae**, v. 18, n. 3, p. 820-839, 2016.

CARMO, Viviane Arruda do; MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace e a seleção natural: um estudo comparativo. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, n. 1, p. 335-350, 2006.

CARROLL, Sean B. **Infinitas formas de grande beleza**. Tradução Diego Alfaro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2006.

CESCHIM, Beatriz; OLIVEIRA, Thais Benetti de; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Evo-devo e o ensino de evolução: uma análise de conteúdo acerca dessa relação em alunos de um curso de licenciatura em ciências biológicas. In: ENCONTRO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA BIOLOGIA, 2014 Ribeirão Preto, **Caderno de resumos**, Ribeirão Preto: Filosofia/USP, 2014, p.212-216.

_____. Uma análise dos conceitos evolutivos inseridos em narrativas teleológicas elaboradas por alunos de Ciências Biológicas: contribuições epistemológicas e didáticas para o ensino de evolução. IN: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2015, Águas de Lindoia. **Anais ISSN: 1809-5100**, Águas de Lindoia: ABRAPEC, 2015, p. 1-8.

_____. Teoria Sintética e Síntese Estendida: uma discussão epistemológica sobre articulações e afastamentos entre essas teoria. **Filosofia e História da Biologia**, v. 11, n. 1, p. 1-29, 2016.

CHEDIAK, Karla. Função e explicações funcionais em biologia. In: ABRANTES, Paulo C. **Filosofia da biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011, p. 83-96.

CHI, Michelene T. H. Conceptual Change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In: GIERE, Ronald N. **Cognitive Models of Science**. Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, XV*. University of Minnesota Press: Minneapolis. 1992.

COMTE, August. **Curso de filosofia positiva**, São Paulo: Abril Cultural, 1978.

COUTINHO, Francisco Ângelo. **A construção de um perfil conceitual para a vida**. 2005, 193f. Tese (Doutorado), Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/SP, 2005.

CUMMINS, Robert. Neo-teleology. **Philosophy of Biology: An Anthology**, p. 164-174, 2002.

DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. Tradução André Campos Mesquita, São Paulo: Escala, 2009.

DAWKINS, Richard. **O Relojoeiro Cego**. Tradução Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

DE HOLANDA FERREIRA, Aurélio Buarque; FERREIRA, Marina Baird; DOS ANJOS, Margarida. **Dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Editora Positivo, 2010.

DIMOV, Luiz Fabio; PECHLIYE, Magda Medhat; JESUS, Rosangela Castro de.

Caracterização ontológica do conceito de fotossíntese e obstáculos epistemológicos e ontológicos relacionados com o ensino deste conceito. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 1, p. 7, 2014.

EL-HANI, Charbel Niño; MEYER, Diogo. A evolução da teoria darwiniana. **ComCiência**, n. 107, p. 1-4, 2009.

ENGVILD, Kjeld C. Possible evolution of teleological bias, language acquisition, and search for meaning from primitive agency detection. **Ideas in Ecology and Evolution**, v. 8, p. 7-13, 2015.

FERRARI, Michel; CHI, Michelene TH. The nature of naive explanations of natural selection. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 10, p. 1231-1256, 1998.

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum Editora, 2010.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Trad. Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FRANCIS, Richard. Epigenética: Como a ciência está revolucionando o que sabemos sobre hereditariedade. Tradução Ivan Weisz Kuck, Rio de Janeiro: Zahar, 2015.

FREIRE-MAIA, Newton. A evolução dos seres vivos. **Síntese: Revista de Filosofia**, v. 17, n. 51, 2012.

FREZZATTI JÚNIOR, Wilson Antonio. A construção da oposição entre Lamarck e Darwin e a vinculação de Nietzsche ao eugenismo. **Scientiae Studia**, v. 9, n. 4, p. 791-820, 2011.

FUTUYMA, Douglas Joel. **Biologia Evolutiva**. Tradução Claudio Angelo, 3. ed., Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 2009.

GALLI, Leonardo M. González; MEINARDI, Elsa. El pensamiento finalista como obstáculo epistemológico para la enseñanza del modelo darwiniano. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1274-1276, 2009.

GALLI, Leonardo M. González; MEINARDI, Elsa. The role of teleological thinking in learning the Darwinian model of evolution. **Evolution: Education and outreach**, v. 4, n. 1, p. 145-152, 2011.

GELLON, Gabriel; MCGINNIS, William. Shaping animal body plans in development and evolution by modulation of Hox expression patterns. **BioEssays**, n. 20, v. 2, p. 116-125, 1998.

GILBERT, Scott F.; BOSCH, Thomas C. G.; LEDÓN-RETTIG, Cristina. Eco-Evo-Devo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents. **Nature Reviews Genetics**, v. 16, n. 10, p. 611-622, 2015.

GILBERT, Scott F.; EPEL, David. Ecological developmental biology: integrating epigenetics, medicine, and evolution. Massachusetts, USA: Sinauer Associates, 2009.

GOULD, Stephen Jay. **Lance de dados: a idéia de evolução de Platão a Darwin**. Tradução Sérgio Moraes Rego. Rio de Janeiro: Record, 2001.

GOULD, Stephen Jay; VRBA, Elisabeth S. Exaptation — a missing term in the science of form. **Paleobiology**, v. 8, n. 01, p. 4-15, 1982.

GRAZZIOTIN, Felipe G.; MONZEL, Markus; ECHEVERRIGARAY, Sergio; BONATTO, Sandro L. Phylogeography of the *Bothrops jararaca* complex (Serpentes: Viperidae): past fragmentation and island colonization in the Brazilian Atlantic Forest. **Molecular Ecology**, v. 15, n. 13, p. 3969-3982, 2006.

GREGORY, T. Ryan. Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. **Evolution: Education and Outreach**, v. 2, n. 2, p. 156-175, 2009.

GREGORY, T. Ryan; ELLIS, Cameron AJ. Conceptions of evolution among science graduate students. **BioScience**, v. 59, n. 9, p. 792-799, 2009.

HARRES, João Batista Siqueira. Natureza da Ciência e Implicações para a Educação Científica. In: MORAES, Roque (org.) **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. 3. ed., Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008, p. 37-68.

HIATT, Anna; DAVIS, Gregory K.; TRUJILLO, Caleb; TERRY, Mark. FRENCH, Donald P.; PRICE, Rebecca M.; PEREZ, Kathryn E. Getting to evo-devo: concepts and challenges for students learning evolutionary developmental biology. **CBE-Life Sciences Education**, v. 12, n. 3, p. 494-508, 2013.

JABLONKA, Eva; LAMB, Marion J. **Evolução em quatro dimensões : DNA, comportamento e a história da vida**. Tradução Claudio Angelo. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

JAPIASSÚ, Hilton; MARCONDES, Danilo. **Dicionário básico de filosofia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 5. ed., 2008.

JUSTINA, Lourdes Aparecida Della; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Uma investigação com graduandos de licenciatura em Ciências Biológicas sobre a relação genotipo fenotipo na perspectiva da epistemologia de Gaston Bachelard. REEC. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, p. 179-200, 2014.

KELEMEN, Deborah. Teleological minds: How natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. **Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution**, v. 66, p. 92, 2012.

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**, São Paulo: Editora Perspectiva, 1962.

LALAND, Kevin N. STERELNY, Kim; ODLING-SMEE, John.; HOPPITT, William; ULLER, Tobias. Cause and effect in biology revisited: is Mayr's proximate-ultimate dichotomy still useful?. **Science**, v. 334, n. 6062, p. 1512-1516, 2011.

LALAND, Kevin N. ULLER, Tobias; FELDMAN, Marcus W.; STERELNY, Kim; MÜLLER, Gerd B.; MOCZEK, Armin; JABLONKA, Eva; ODLING-SMEE, John. The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. **Proceedings of the Royal Society of London B**, v. 282, n. 1813, p. 2-14, 2015.

LALAND, Kevin N.; ODLING-SMEE, John; HOPPITT, William; ULLER, Tobias. et al. More on how and why: cause and effect in biology revisited. **Biology & Philosophy**, v. 28, n. 5, p. 719-745, 2013.

LIBÂNEO, José Carlos. Formação de Professores e Didática para Desenvolvimento

Humano. **Educação & Realidade**, v. 40, n. 2, p. 629-650, 2015.

LOMBROZO, Tania; CAREY, Susan. Functional explanation and the function of explanation. **Cognition**, v. 99, n. 2, p. 167-204, 2006.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli EDA. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 2012.

MALTHUS, Thomas Robert. **An essay on the principle of population**. New York: Cosimo, Inc, 2005.

MARICATO, Fúlvia Eloá. A (re)construção coletiva do conceito de interação biológica: contribuição para a epistemologia da Biologia e a formação de pesquisadores e professores. 2012. 222 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências de Bauru, 2012.

MARICATO, Fúlvia Eloá; CARVALHO, Graça Simões de; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Relações interespecíficas na Ecologia: das definições tradicionais às análises tridimensionais**. VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)/I Congresso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciéncias (CIEC), 2012, Campinas, Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Campinas: ABRAPEC, 2012. p. 1-10.

MARTINS, Liliam Pereira. Lamarck e as quatro leis da variação das espécies. **Epistéme**. v. 2, n. 3, p. 33-54, 1997.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. **Nos tempos de Lamarck: o que ele realmente pensava sobre evolução orgânica**. Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2014. Disponível em < http://www.ghtc.usp.br/server/PDF/lacpm-Tempos-de-Lamarck.PDF>. Acesso em 28 de novembro de 2016.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. O Papel Da Geração Espontânea na Teoria da Progressão Dos Animais de J. B. Lamarck. **Revista da SBHC**, n.11, p.57-65, 1994.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; BAPTISTA, Ana Maria Haddad. Lamarck, evolução orgânica e tempo: algumas considerações. **Filosofia e história da biologia**, v. 2, n. 1, p. 279-296, 2007.

_____. A herança de caracteres adquiridos nas teorias “evolutivas” do século XIX, duas possibilidades: Lamarck e Darwin. **Filosofia e História da Biologia**, v. 10, n. 1, p. 67-84, 2015.

MATTHEWS, Michael S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. Tradução Claudia Mesquita de Andrade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MAYR, Ernst. **Biologia, ciência única**. Tradução Marcelo Leite. São Paulo: Editora Companhia das Letras, 2005.

_____. **Isto é biologia: a ciência do mundo vivo**. Tradução Claudio Angelo. São Paulo: Editora Companhia das Letras, 2008.

_____. **O que é a evolução**. Tradução Ronaldo Sergio de Biasi; Sergio Coutinho de Biasi. Rio de Janeiro: Rocco, 2009.

MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida. **O conceito de organismo*:* uma introdução à epistemologia do conhecimento biológico na formação de graduandos de biologia**. 2009. 254f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2009.

MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares de; BRANDO, Fernanda da Rocha; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. A Formação de Pesquisadores em Epistemologia Da Biologia. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação Em Ciências, 2007, Florianópolis, **Atas do VI Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Florianópolis: ABRAPEC, 2007, p.1-12.

MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares de; BRANDO, Fernanda da Rocha; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Formação de pesquisadores: O papel de um grupo de pesquisa em Epistemologia da Biologia. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 6, n. S1, 2008.

MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade;

BORTOLOZZI, Jehud. Recorrência da idéia de progresso na história do conceito de evolução biológica e nas concepções de professores de biologia: interfaces entre produção científica e contexto sócio-cultural. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, n. 1, p. 107-123, 2006.

MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Niño. **Evolução: o sentido da biologia**. São Paulo: Editora UNESP, 2005.

MONOD, Jacques. **O acaso e a necessidade**. Tradução Bruna Palma; Pedro Paulo de Sena Madureira. Petrópolis: Vozes. 2006.

MORTIMER, Eduardo Fleury. **Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos**. Investigações em ensino de ciências, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

_____. Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

MOSSIO, Matteo; BICH, Leonardo. What makes biological organisation teleological?. **Synthese**, p. 1-26, 2014.

NUNES NETO, Nei de Freitas; CARMO, Ricardo Santos do; EL-HANI, Charbel Niño. O conceito de função na ecologia contemporânea, **Revista de Filosofia Aurora**, v. 25, n. 36, p. 43-73 2013.

NUNES NETO, Nei Freitas; EL-HANI, Charbel Niño. Gaia, teleologia e função. **Episteme**, v. 11, n. 23, p. 15-48, 2006.

OLIVEIRA, Thais Benetti de. Uma pesquisa didático-epistemológica na formação inicial em ciências biológicas: como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta? 2015, 209f. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2015.

OLIVEIRA, Thais Benetti de; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Organismos adaptados, seleção natural e restrições do desenvolvimento: Uma discussão epistemológica acerca das relações entre esses conceitos em um Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB) In: ENCONTRO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA BIOLOGIA, 2013, Florianópolis, **Caderno de resumos do encontro de história e filosofia da biologia**. Florianópolis: Associação Brasileira de Filosofia

e História da Biologia, 2013, p. 214-219.

OTSUKA, Jun. Using causal models to integrate proximate and ultimate causation. **Biology & Philosophy**, v. 30, n. 1, p. 19-37, 2015.

PARRA, Nélio. Caminhos do ensino – instrutor, professor, mestre. São Paulo: Thomson, 2002.

PIGLIUCCI, Massimo; MÜLLER, Gerd B. Elements of an extended evolutionary synthesis. **Evolution: The extended synthesis**, p. 3-17, 2010.

POPPER, Karl. Colocação de alguns problemas fundamentais. In: _____. **A lógica da pesquisa científica**, São Paulo, Editora Cultrix, 2011.

PRAIA, João Felix; CACHAPUZ, António Francisco Carrelhas; GIL-PÉREZ, Daniel. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da Educação em Ciência. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 1, p.127-145, 2002.

RAMOS, Maurivan Güntzel. Epistemologia e Ensino de Ciências: compreensões e perspectivas: In: MORAES, Roque (org.) **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. 3. ed., Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008, p. 13-36.

REECE, Jane B. *et al*. **Biologia de Campbell**. Tradução Anne D. Villela *et al*. 10. ed., Porto Alegre: Artmed, 2015.

RIBEIRO, Manuel Gustavo Leitão; LARENTIS, Ariane Leites; CALDAS, Lúcio Ayres; GARCIA, Tomás Coelho; TERRA, Letícia Labati; HERBST, Marcelo Hawrylak; ALMEIDA, Rodrigo Volcan. De Gaston Bachelard a Ernst Mayr: a noção de “obstáculo teleológico”. In: CONGRESSO SCIENTIARUM HISTORIA IV, 2011, Rio de Janeiro, **Livro de Anais do Congresso Scientiarum Historia IV**, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. p. 1-7.

_____. On the debate about teleology in biology: the notion of “teleological obstacle". **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 22, n. 4, p. 1321-1333, 2015.

RIDLEY, Mark. **Evolução**. Tradução Henrique Ferreira, Luciane Passaglia, Rivo Fiescher. 3. ed., Porto Alegre: Artmed, 2006.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, p. 7631.265-9, 2010.

ROSE, Michael R.; OAKLEY, Todd H. The new biology: beyond the Modern Synthesis. **Biology direct**, v. 2, n. 1, p. 30, 2007.

SALZANO, Francisco M. **Genômica e evolução: moléculas, organismos e sociedades**. São Paulo, Oficina de Textos, 2012.

SEPÚLVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Obstáculos epistemológicos e ontológicos à compreensão do conceito darwinista de adaptação: implicações para ao ensino de evolução. **Cuadernillos de Investigación**, n. 5, p. 1-28, 2007.

_____. Obstáculos Epistemológicos e Sementes Conceituais para a Aprendizagem sobre Adaptação: uma interpretação epistemológica e sociocultural dos desafios no ensino de evolução. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 2, 2014.

SCHOLL, Raphael; PIGLIUCCI, Massimo. The proximate–ultimate distinction and evolutionary developmental biology: causal irrelevance versus explanatory abstraction. **Biology & Philosophy**, v. 30, n. 5, p. 653-670, 2015.

SEPULVEDA, Claudia; MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Niño. Adaptacionismo. In: ABRANTES, Paulo C. **Filosofia da Biologia**, Porto Alegre: ARTMED, p. 162-192, 2011.

SEPULVEDA, Claudia; MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Niño. Adaptacionismo. In: ABRANTES, Paulo C. **Filosofia da Biologia**, Porto Alegre: ARTMED, 2011, p. 162-192.

SEPULVEDA, Claudia; MORTIMER, Eduardo Fleury; EL-HANI, Charbel N. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 2, p. 439-479, 2013.

SEPULVEDA, Claudia; MORTIMER, Eduardo Fleury; EL-HANI, Charbel N. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 2, p. 439-479, 2013.

SEPULVEDA, Claudia; NUNES-NETO, Nei Freitas; EL-HANI, Charbel Niño. O valor heurístico e pedagógico da linguagem teleológica no ensino de evolução. VIII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2011, Campinas, **Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Campinas: ABRAPEC, 2011, p.1-13.

SKINNER, Michael K. Environmental epigenetics and a unified theory of the molecular aspects of evolution: a neo-Lamarckian concept that facilitates neo-Darwinian evolution. **Genome biology and evolution**, v. 7, n. 5, p. 1296-1302, 2015.

TOEPFER, Georg. Teleology and its constitutive role for biology as the science of organized systems in nature. Studies in History and Philosophy of Science Part C: **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 43, n. 1, p. 113-119, 2012.

WRIGHT, Larry. Functions. **The Philosophical Review**, v. 82, n. 2, p. 139-168, 1973.

ZOHAR, Anat; GINOSSAR, Shlomit. Lifting the taboo regarding teleology and anthropomorphism in biology education—Heretical suggestions. **Science Education**, v. 82, n. 6, p. 679-697, 1998.

ANEXO A – RESPOSTAS OBTIDAS NO QUESTIONÁRIO ESCRITO FINAL

Aluna A1

Questão 1

Durante o processo evolutivo tais tubarões podem ter adquirido essas características adaptativas favoráveis por meio de pressões seletivas, fazendo deles animais de topo de cadeia, importantes na manutenção do equilíbrio ecológico dos mares.

Questão 2

As asas em aves que não voam, o apêndice nos seres humanos e os mamilos em homens.

Questão 3

Sim, pois os organismos sobreviventes foram os que apresentaram baixa taxa de eclosão dos ovos, diante da pressão seletiva do meio.

Questão 4

A partir do momento que o nariz foi utilizado como apoio para os óculos, isto tornou-se sua função também, porém de modo secundário, sendo os mecanismos do sistema respiratório sua principal função.

Aluno A3

Questão 1

Os diferentes tipos de tubarões existem ao acaso, tendo assim a possibilidade da seleção natural atuar, mas não que necessariamente ocorra. No atual momento essas espécies coexistem porque possuem características que possibilitam sua sobrevivência, ocupando um lugar na cadeia alimentar.

Questão 2

Apêndice vermiforme; possui uma função na digestão de celulose, hoje em dia pode levar a morte pela apendicite.

Questão 3

Não, pois taxa baixa de eclosão não oferece vantagem a nenhum ser vivo, sendo assim, eles tinham outra característica, pois em uma comunidade de milhões, baixa taxa de eclosão não faria diferença, tendo assim a espécie perpetuado. Também poderia ser o caso do

adaptacionismo ou deriva genética. Pois não necessariamente houve variabilidade para a seleção atuar.

Questão 4

Sim, ele poderia ter a função de apoiar o óculos, sendo assim exadaptativo, pois o nariz desempenha a função no sistema respiratório, porém ele também possibilitou o uso do óculos. Porém o ser humano poderia ter criado outra forma de prender o óculos, que não usasse o nariz, algo parecido com óculos de natação.

Aluno A4

Questão 1

Poderia se supor que os tubarões vivíparos teriam maior vantagem devido ao seu tamanho e menor predação porém isso faz com que a fêmea demore mais tempo na gestação ao invés de botar ovos como em outras espécies que possuem menor tempo de produção desses indivíduos e maior quantidade de indivíduo ao invés de se ter um maior investimento em desenvolvimento uterino por mais tempo; uma vez que os filhotes tenham nascido já estão prontos para predar o que não se observa em mamíferos por exemplo em que os filhotes precisam de um tempo até que estejam aptos a caçarem, fatores como comportamento (de nascer com instinto de caça) e anatomia (já nascer com órgãos preparados para caça).

Questão 2

Glote, mamilos, apêndice e amídala.

Questão 3

Sim, pode-se supor que as aves antes da diminuição de espécies já possuíam a característica de baixa eclosão de ovos e depois da pressão seletiva sobraram as que eclodiam mais porém talvez não o suficiente para perpetuar a espécie devido a redução dessa população visto que se antes de quatro ovos um nascia se eu tenho uma grande população então a espécie se mantém (quatro ovos por casal sendo 1000 indivíduos teremos um ovo que eclode assim 500 indivíduos) mas se a população diminui e essa característica persiste a espécie não se mantém (50 indivíduos teriam 25 descendentes).

Questão 4

(não respondeu)

Aluno A5

Questão 1

A consolidação dos tubarões no topo da cadeia alimentar se dá pois os tubarões que nascem mais “desenvolvidos” (maiores e mair fortes, já prontos para o ambiente fora do útero) são menos predados e assim há maiores chances de chegarem na idade adulta e se reproduzirem.

Questão 2

Dente do siso, apêndice, mamilos nos homens... são alguns exemplos de “imperfeições” pois não possuem uma “função” no organismo, porém continuam a aparecer nos seres humanos. Uma possibilidade é que genes responsáveis por certas funções vitais também desenvolvam essas características aparentemente sem função.

Questão 3

Sim, já que o DNA era “único” da área a seleção natural selecionou tais indivíduos. Com a adição das aves da região houve uma mistura genética e mais aves nascidas devido a isso.

Questão 4

A função primária do nariz nos humanos é a de mecanismos respiratórios, a função de apoio para os óculos é utilizada por apenas uma parcela da população que mesmo usando óculos este pode ser sustentado nas orelhas ou a pessoa pode utilizar lentes de contato, sendo assim o nariz pode ou não ter a função de apoio.

Aluna A6

Questão 1

Se, atualmente a espécie Carcharhinus leucas tem esse comportamento canibal intra-uterino e isso lhe permite ter um maior desenvolvimento, podemos pensar que esse comportamento favoreceu sua posição no topo da cadeia alimentar. Porém, para possuirmos tal afirmação, teríamos que estudar a espécie ao longo do tempo e se houve modificação genotípica.

Questão 2

O polegar opositor (maior habilidade manual, porém maior risco de inflamações)

Os dentes extras (facilitaram a trituração dos alimentos com a constante mudança da dieta humana, mas causam incômodo e infecções).

Questão 3

Se os pesquisadores estudaram a história das pradarias de Illinois e o DNA dessa espécie atual e dos ancestrais, concluindo a seleção natural. podemos pensar que a partir das evidências, pode ter existido uma competição por alimento e nicho, favorecendo a adaptação para a postura de poucos ovos.

Questão 4

Sim, podemos elencar inúmeras funções a um determinado órgão ou estrutura. Porém quando falamos em adaptação deve-se estudar criteriosamente os ancestrais e as relações genotípicas.

Aluno A7

Questão 1

Devido a competição intra-uterina dentre as espécies vivíparas de tubarão permitiu que a prole mais desenvolvida após o nascimento, assim esses indivíduos tem melhores resultados em relação a sobrevivência no habitat dos quais tubarões que não tiveram essas etapas do desenvolvimento.

Questão 2

O apêndice vermiforme, que tinha função de digestão de celulose hoje possui um auxílio no sistema imunológico. Sopro no coração que é considerado como uma falha no sistema circulatório, porém é considerado uma evidência evolutiva, pois répteis possuem uma circulação completa.

Questão 3

Sem saber o contexto devido dessa espécie por completo é difícil, no entanto, considerando o contexto apresentado, a taxa de eclosão houve uma deriva genética, no qual era afetou essa taxa de eclosão de uma forma não benéfica, diminuindo drasticamente essa população ao longo dos anos, no entanto cruzamento das aves com aves de outra região da mesma espécie fizeram a sua taxa de eclosão aumentar.

Questão 4

A função primordial do nariz é a respiração com o auxilio a filtro de ar, aquecendo-o e umedecendo.

Aluna A9

Questão 1

A consolidação dessa posição ocupada pelos tubarões pode ser ligada ao desenvolvimento completo do indivíduo ainda no corpo da mãe e sendo assim, quando o mesmo nasce, ele já possui uma formação estrutural completa, o que pode facilitar a caça de suas próprias presas e seu crescimento. Talvez os tubarões que nasçam de ovos dependam de um conhecimento adquirido (podendo ser ensinados pelos pais) que demore um certo tempo para que seja efetivo, dada a necessidade de um desenvolvimento pós nascimento, e durante esse período, pode ser que ele seja uma presa mais fácil do que um indivíduo de tamanho maior.

Questão 2

Um exemplo de imperfeição dos seres vivos pode ser o exoesqueleto em caranguejos que possui função de proteção e sustentação do animal mas que precisa ser trocado conforme o crescimento do indivíduo e durante esse período de muda, o animal acaba ficando vulnerável sem a sua “armadura”.

Questão 3

No caso da população de aves pode ser considerado o cuidado parental que seria comprometido em função de um grande número de filhotes em relação a aves adultas, e com a coloração de indivíduos adultos na população pode ter resultado em distribuição de funções dentro de uma comunidade. Ou também pode ser que não estaria havendo uma variabilidade genética suficientemente capaz de gerar indivíduos viáveis, e dessa forma, o desenvolvimento dos mesmos não chegava a se concluir.

Questão 4

O nariz possui funções ligadas apenas ao sistema respiratório, o apoio dado ao óculos é apenas secundário, e o apoio dos óculos poderia ser feito de outra maneira, como por exemplo, uma amarração na parte de trás da cabeça, ou ainda, como já foi feito, possuir um cabo em que as pessoas seguram para levá-los aos olhos. Ou seja, a função primária do nariz é ligada a respiração, mas a secundária pode ser ligada aos óculos sem que o nariz perca a função respiratória por conta disso. Também em casos de pessoas que não usam óculos, o nariz continua exercendo suas funções (cheiro e respiração). A questão dos óculos também pode ser resolvida com lentes de contato, sem que haja necessidade do apoio do nariz.

Aluna A10

Questão 1

O tipo de gestação influi significativamente para o desenvolvimento do tubarão em questão, pelo fato de ele permanecer em ambiente uterino e protegido mais tempo que outras espécies de tubarão e já nascer grande e bem desenvolvido, além da questão do alimento. O tubarão é um predador natural mas este tem uma vantagem sobre os demais por conseguir se desenvolvem bastante ainda em ambiente protegido (útero).

Questão 2

Não tenho certeza se compreendi direito, mas levando-se em conta o exemplo dado, me lembrou o caso da lesma, que é “um caracol sem casca” que teria perdido ela através de processos evolutivos para que ficasse mais rápido e gastasse menos energia com a locomoção devido ao peso da casca. Porém a falta dela lhe deixou menos protegida e mais suscetível a responder negativamente a problemas no ambiente, como desidratar, por exemplo. Em aula aprendemos que isso foi fruto de processos evolutivos e que pode ter trago benefícios para este organismo, no entanto, pode também não ser tão benéfico assim.

Questão 3

Acredito que não pois foi a interferência humana que influiu na seleção dessas aves na forma que não necessariamente os indivíduos mais bem adaptados sobreviveram e os que sobraram não tiveram tempo suficiente de evoluir para se adaptarem as novas condições importas tão rapidamente. Pode ser que os indivíduos que restaram não fosse os indivíduos com os genes mais adaptáveis à situação e por isso adicionar mais indivíduos à população tenha ajudado pois as chances de se ter mais genes capazes de se adaptar aumentou com a população maior.

Questão 4

O nariz é extremamente importante para o sistema respiratório, ele nos condiciona a entrada de ar e saída do mesmo, isso faz dele essencial a este sistema, porém acredito que apesar de servir de apoio para os óculos ele não seja essencial para isto. Certamente se o nariz não oferecesse esse suporte, talvez outra maneira fosse criada para usar o óculos. Logo, não definimos que sua função é do sistema respiratório, mas não significa que tem que haver essa restrição.