

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS: QUÍMICA DA
VIDA E SAÚDE

Pâmela Ziliotto Sant'Anna Flach

**EPISTEMOLOGIA, COMPLEXIDADE E
CIÊNCIAS DA NATUREZA
O ENSINO DE BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA**

Porto Alegre
2018

Pâmela Ziliotto Sant'Anna Flach

EPISTEMOLOGIA, COMPLEXIDADE E CIÊNCIAS DA NATUREZA

O ENSINO DE BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Educação em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. José Claudio Del Pino

Porto Alegre
2018

CIP - Catalogação na Publicação

Flach, Pâmela Ziliotto Sant'Anna
EPISTEMOLOGIA, COMPLEXIDADE E CIÊNCIAS DA NATUREZA
O ENSINO DE BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA / Pâmela
Ziliotto Sant'Anna Flach. -- 2018.
180 f.
Orientador: José Claudio Del Pino.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas da Saúde,
Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências:
Química da Vida e Saúde, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Complexidade. 2. Epistemologia. 3. Biologia. 4.
Ensino. I. Del Pino, José Claudio, orient. II.
Titulo.

AGRADECIMENTOS

Esta tese é dedicada a meus pais, Solange e Martin. Toda expressão de gratidão não seria suficiente por todo amor, carinho e dedicação que generosamente me concedem nesta vida.

À minha avó Lody (*in memoriam*), cujos ensinamentos não se encontram em livros e excedem qualquer ciência por estarem pautados no mais genuíno amor.

Ao Fernando, por todo amor e chamego que, neste final, me trouxeram de volta para o que realmente importa aqui e agora.

À minha irmã, Paloma, pela preciosa ajuda com as transcrições dos dados.

Aos meus colegas professores, que resistem e muito me inspiram na arte docente e na arte de viver.

Ao meu orientador, professor Del Pino, pelo suporte durante o doutorado.

Ao Instituto Federal Farroupilha, pela bolsa de estudos e auxílio deslocamento concedidos através do Programa Institucional de Incentivo à Qualificação Profissional em 2016 e 2017.

Ao Campus Frederico Westphalen pela concessão do afastamento parcial para estudos.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida no período entre dezembro de 2014 e julho de 2015.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências; e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo privilégio de ter sido formada por essa instituição pública, gratuita e de excelência.

*Bendito seja eu por tudo quanto não sei.
É isso tudo que verdadeiramente sou.*

Alberto Caeiro

RESUMO

Esta tese tem três focos principais que se atravessam e se articulam mutuamente: a epistemologia da ciência e da Biologia, o Ensino de Biologia e o paradigma da Complexidade. Nos interessamos particularmente em investigar como se constitui, na escola, a epistemologia da ciência Biologia na sua articulação com as Ciências da Natureza. A partir disso, nosso objetivo central consiste em compreender a epistemologia subjacente às Ciências da Natureza e, em particular à Biologia, no contexto do seu ensino na escola básica. Este objetivo desdobra-se em outros quatro específicos, investigados e apresentados ao longo de seis capítulos a partir dos Princípios da Complexidade de Edgar Morin. O primeiro objetivo específico, organizar uma síntese das posições epistemológicas/metodológicas de explicação dos fenômenos associadas às Ciências da Natureza, é apresentado no capítulo 2, à luz do princípio sistêmico/organizacional. Ao transpor tais ideias para a Biologia, no capítulo 3, discute-se as consequências dos aspectos epistemológicos e metodológicos abordados sobre a constituição de sua autonomia enquanto ciência legítima, adotando como referência o princípio hologramático. O segundo objetivo específico, investigar como os professores de Física, Química e Biologia compreendem a epistemologia e o ensino das Ciências da Natureza e, a partir disso, constroem para si a epistemologia de sua disciplina específica, foi operacionalizado a partir da realização de discussões em grupos focais em cinco escolas diferentes. Cada grupo foi constituído por três professores, de Biologia, Física e Química. Para abarcar o terceiro objetivo específico, no que se refere à Biologia, caracterizar a natureza do conhecimento biológico construído pelos professores nas suas práticas docentes, foram realizadas entrevistas episódicas com os professores de Biologia que previamente participaram das discussões focais. Os dados coletados tanto nos grupos focais quanto nas entrevistas episódicas foram interpretados através da análise de conteúdo. No capítulo 4 são apresentadas informações contextuais sobre o grupo de professores participantes da pesquisa. Para tanto, nos valem do princípio de auto-eco-organização para desenvolver a nossa noção de sujeito, estruturada a partir de Edgar Morin e Jean Piaget. Os dados dos grupos focais são apresentados e discutidos no capítulo 5, tomando como referência o princípio do circuito retroativo. O capítulo 6 apresenta as discussões dos dados coletados nas entrevistas episódicas a partir do princípio do circuito recursivo. Por fim, recorreremos ao princípio da reintrodução do conhecimento e ao princípio dialógico para apresentar uma síntese daquilo que produzimos na tese e propor o conceito de inter-poli-transbiologia.

Palavras-chave: Complexidade, Epistemologia, Biologia, Ensino.

ABSTRACT

This thesis has three main focuses that cross and articulate each other: the epistemology of science and biology, the teaching of biology and the paradigm of complexity. We are special interested to investigate how the epistemology of Biology is constituted in its articulation with the Sciences of Nature. Our central goal is to understand the epistemology of the Natural Sciences, specially Biology, in the context of its teaching in basic school. This major goal is divided into four specific objectives and each one will be presented over six chapters based on Edgar Morin's Principles of Complexity. The first specific objective is to organize a synthesis of the epistemological/ methodological positions of explanation of the phenomena associated to the Natural Sciences and is presented in chapter 2, considering the systemic/ organizational principle. On transposing such ideas to biology, the third chapter discusses the consequences of the epistemological and methodological aspects addressed on the constitution of its autonomy as an authentic science, adopting as a reference the hologramatic principle. The second specific objective is to investigate how the teachers of Physics, Chemistry and Biology understand the epistemology and the teaching of the Nature Sciences. From this, we carried out five focal groups in five different schools. Each group was composed by three teachers, one of each discipline, in order to understand how they construct the epistemology of their specific discipline. Our third objective was to characterize the nature of biological knowledge constructed by teachers in their teaching practices. In order to achieve it, we proceed episodic interviews with biology teachers. These teachers were the same that had participated in focal groups discussions. Our data were interpreted with content analysis. Chapter 4 presents contextual information about the teachers participating in the research and discusses the notion of subject from Edgar Morin and Jean Piaget, considering the principle of self-eco-organization. The focus group data are presented and discussed in Chapter 5, taking as reference the retroactive circuit principle. Chapter 6 presents the discussions of the data collected in the episodic interviews based on the principle of recursive loop. Finally, we use the principle of the reintroduction of knowledge and the dialogical principle to present a synthesis of what we produce in this research and propose the concept of inter-poli-transbiology.

Keywords: Complexity, Epistemology, Biology, Teaching.

RIASSUNTO

Questa tesi ha tre focus principali che si intersecano e si articolano reciprocamente: l'epistemologia della scienza e della biologia, l'insegnamento della biologia ed il paradigma della complessità. Siamo particolarmente interessati a indagare come l'epistemologia della biologia è costituita nella sua articolazione con le scienze della natura. Il nostro obiettivo principale è comprendere l'epistemologia delle scienze naturali, in particolare la biologia, nel contesto del suo insegnamento nella scuola di base. Questo obiettivo principale è suddiviso in quattro obiettivi specifici e ciascuno sarà presentato in sei capitoli sulla base dei Principi di complessità di Edgar Morin. Il primo obiettivo specifico è quello di organizzare una sintesi delle posizioni epistemologiche/metodologiche di spiegazione dei fenomeni associati alle scienze naturali e viene presentato nel capitolo 2, considerando il principio sistemico/organizzativo. Trasportando tali idee alla Biologia, il terzo capitolo discute le conseguenze degli aspetti epistemologici e metodologici indirizzati sulla costituzione della sua autonomia come scienza autentica, adottando come riferimento il principio ologrammatico. Il secondo obiettivo specifico è quello di indagare come gli insegnanti di Fisica, Chimica e Biologia comprendono l'epistemologia e l'insegnamento delle scienze della natura. Per raggiungere questo obiettivo, abbiamo realizzato cinque gruppi focali in cinque diverse scuole. Ogni gruppo era composto da tre insegnanti, uno di Biologia, uno di Chimica e uno di Fisica, per capire come costruiscono l'epistemologia della loro disciplina specifica. Il nostro terzo obiettivo era caratterizzare la natura delle conoscenze biologiche costruite dagli insegnanti nelle loro pratiche di insegnamento. Per ottenerlo, procediamo a interviste episodiche con insegnanti di Biologia. Questi insegnanti erano gli stessi che avevano partecipato alle discussioni dei gruppi focali. I nostri dati sono stati interpretati con l'analisi del contenuto. Il capitolo 4 presenta gli informazioni contestuali sugli insegnanti che hanno partecipato alla ricerca e discute la nozione di soggetto da Edgar Morin e Jean Piaget, considerando il principio di auto-eco-organizzazione. I dati dei gruppi focali vengono presentati e discussi nel Capitolo 5, prendendo come riferimento il principio del circuito retroattivo. Il capitolo 6 presenta le discussioni sui dati raccolti nelle interviste episodiche basate sul principio del ciclo ricorsivo. Infine, utilizziamo il principio della reintroduzione della conoscenza e il principio dialogico per presentare una sintesi di ciò che abbiamo prodotto in questa ricerca e proponiamo il concetto di inter-poli-transbiologia.

Parole chiave: Complessità, Epistemologia, Biologia, Insegnamento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Estratégias de triangulação empregadas na pesquisa	41
Figura 2. Elementos constituintes do ensino de Biologia	84
Quadro 1. Objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa	34
Quadro 2. Titulação e experiência docente do grupo de professores colaboradores	101
Quadro 3. Categorias obtidas a partir da discussão sobre delimitação entre conhecimento científico e outras formas de conhecimento, proposta na Atividade 1 do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	111
Quadro 4. Categorias obtidas a partir da discussão sobre o ensino e as formas de conhecimento, proposta na Atividade 1 do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	111
Quadro 5. Categorias obtidas a partir da Atividade 2 do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais	113
Quadro 6. Categorias obtidas a partir da Questão 1 dos tópicos de transição do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	115
Quadro 7. Categorias obtidas na primeira parte da Questão 2 dos tópicos de transição do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais	116
Quadro 8. Categorias obtidas na segunda parte da Questão 2 dos tópicos de transição do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	118
Quadro 9. Categorias obtidas a partir da pergunta “O que é específico da física, da química e da biologia e que evidencia a autonomia de cada uma dessas ciências?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	119
Quadro 10. Categorias obtidas a partir da pergunta “É possível estabelecer uma hierarquia entre essas disciplinas? Alguma ciência que pudesse servir de fundamento para as demais ou não?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	121
Quadro 11. Categorias obtidas a partir da pergunta “O que seria comum às ciências físicas, químicas e biológicas que justificasse a sua articulação nas Ciências da Natureza?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	123
Quadro 12. Categorias obtidas a partir da pergunta “No dia-a-dia da sala de aula, em que aspectos integração das disciplinas na área das Ciências da Natureza contribui para o ensino? Em que aspectos ela o dificulta?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	124
Quadro 13. Categorias obtidas a partir da pergunta “Existiriam alguns temas/conceitos que fazem mais sentido de serem compreendidos através de uma visão mais ampla das Ciências da Natureza? Por exemplo?”, proposta	

nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	126
Quadro 14. Categorias obtidas a partir da pergunta “Que temas/conceitos fazem mais sentido serem compreendidos dentro da especificidade de cada ciência?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.....	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DCN - Diretrizes Curriculares Nacionais

DCNEM - Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (Porto Alegre)

SEDUC – Secretaria de Educação do Estado do Rio Grande do Sul

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre)

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (São Leopoldo, RS)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO: DOS DESEJOS E QUESTIONAMENTOS QUE MOVEM ESTA INVESTIGAÇÃO	15
OBJETIVOS	26
O QUE SE VAI ENCONTRAR ADIANTE	27
1 SOBRE O MÉTODO	30
E NO CAMINHO, A COMPLEXIDADE!	30
<i>Nossa opção pela pesquisa qualitativa</i>	31
DESENHO DA PESQUISA	33
<i>Estratégias para coleta de dados</i>	35
Coleta de dados verbais: grupos focais	35
Coleta de dados verbais: entrevistas episódicas	37
ESTRATÉGIAS PARA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	38
<i>Análise de conteúdo</i>	38
<i>Triangulação</i>	40
QUALIDADE E ÉTICA NA PESQUISA	42
2 ENTRE O REDUACIONISMO E O HOLISMO, ONDE SE SITUA A BIOLOGIA?	45
AS CONDIÇÕES POR DETRÁS DO REDUACIONISMO	46
O PROGRAMA REDUACIONISTA	50
O PÊNDULO OSCILA: A EMERGÊNCIA DO HOLISMO	53
A OPÇÃO PELO REDUACIONISMO OU PELO HOLISMO É REALMENTE NECESSÁRIA?	55
<i>A biologia ao longo dos tempos</i>	58
<i>Na história da biologia (e da ciência) surge Darwin!</i>	61
<i>Um lugar ou vários lugares para a biologia?</i>	64

3 PARA SE PENSAR O ENSINO A PARTIR DA COMPLEXA EMERGÊNCIA DA BIOLOGIA	69
A EMERGÊNCIA DA VIDA	69
AS AUTONOMIAS DA BIOLOGIA	72
O ENSINO FRENTE ÀS AUTONOMIAS DA BIOLOGIA	81
<i>Para ir além: o ensino de Biologia como um holograma</i>	<i>85</i>
4 SOBRE OS SUJEITOS PROFESSORES	89
O PRINCÍPIO DE AUTO-ECO-ORGANIZAÇÃO	90
A NOÇÃO DE SUJEITO	93
NOSSOS SUJEITOS PROFESSORES	99
<i>Apresentação do grupo de professores pesquisado e notas metodológicas.....</i>	<i>100</i>
5 CONCEPÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DE PROFESSORES DE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLOGIA NO CONTEXTO DO ENSINO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA NO ENSINO MÉDIO	108
PARA UM COMEÇO DE CONVERSA.....	108
ANÁLISE QUALITATIVA E DISCUSSÃO DOS GRUPOS FOCAIS	111
O ENSINO FRENTE AO CIRCUITO PRODUTOR DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA	128
6 A COMPLEXIDADE DE SE PENSAR E ENSINAR A CIÊNCIA BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA	135
A NATUREZA E O OBJETO DA BIOLOGIA NO CONTEXTO DO ENSINO	136
ANÁLISE QUALITATIVA E DISCUSSÃO DAS ENTREVISTAS EPISÓDICAS	141
<i>Categoria 1: Significados de 'biologia'</i>	<i>141</i>
<i>Categoria 2: Trajetória e opção pela Biologia</i>	<i>142</i>
<i>Categoria 3: Autonomia da Biologia</i>	<i>145</i>
<i>Categoria 4: Articulação entre a Biologia e as Ciências da Natureza</i>	<i>147</i>
<i>Categoria 5: Níveis da realidade</i>	<i>150</i>

O CIRCUITO RECURSIVO E O ENSINO DE BIOLOGIA	152
CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
REFERÊNCIAS	166
APÊNDICE A – GUIA DE TÓPICOS PARA AS DISCUSSÕES NOS GRUPOS FOCAIS	173
APÊNDICE B – GUIA PARA ENTREVISTA EPISÓDICA	176
APÊNDICE C – INFORMAÇÃO AOS PARTICIPANTES	178
APÊNDICE D – FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO AOS PARTICIPANTES	180

INTRODUÇÃO: DOS DESEJOS E QUESTIONAMENTOS QUE MOVEM ESTA INVESTIGAÇÃO

*Uma palavra ilumina a minha pesquisa:
compreender.*
Marc Bloch

A ciência é e continua a ser uma aventura.
Edgar Morin

É preciso que eu, incessantemente, mergulhe na água da dúvida.
Wittgenstein

*Se alguém quer realmente buscar a verdade,
não deve escolher uma ciência particular;
elas estão todas unidas e dependem umas das outras.*
Descartes

Este texto introdutório tem a preocupação de apresentar os diferentes meandros deste trabalho para que o leitor possa constituir, desde o início, uma totalidade que permita interpretar e compreender o que apresentamos em profundidade. Diante disso, de antemão, pedimos ao pensamento que dissipe as certezas, as verdades absolutas, as teorias fechadas, as convicções firmes diante das ideias. Desejamos que a aventura do conhecimento seja nossa filosofia. Somos movidos pela crença de que existe algo de especial, de enigmático e de milagroso nessa aventura. Deveras, o fato de o mundo ser compreensível, ser conhecível, é, julgamos, um milagre.

Inegavelmente, conhecer é um ato inerente à condição humana. Desde o início da humanidade estamos empenhados em adquirir informações sobre os fenômenos naturais, sociais, econômicos na tentativa de desvendar o mundo e a realidade que nos cercam. Conhecemos porque vivemos e vivemos como humanos porque conhecemos. Nossa capacidade de conhecer e aprender sistematicamente constituíram ao longo dos séculos um conjunto de saberes que possibilitaram uma gama de descobertas e avanços científicos e tecnológicos que favoreceram nossa

sobrevivência e a manutenção de diversas formas de vida no planeta. Porém, igualmente possibilitaram a produção de profundos desequilíbrios ambientais, a extinção de espécies, o estabelecimento de guerras, de desigualdades sociais... Reconhecemos que viver é conhecer.

Conhecer nos permite formar representações da realidade, o que, por sua vez, nos proporciona meios para nos adaptarmos e perseverarmos. Quando diante de uma situação problemática inusitada, buscamos repostas e soluções para delas dar conta. *Scientia*, do latim, significa conhecimento, práticas, explicações sistematizadas. Não podemos precisar exatamente a partir de que momento essas diferentes repostas construídas pela humanidade foram se organizando até serem reconhecidas como ciência, mas a história evidencia que, desde seu surgimento, foram propostas diferentes visões acerca da sua natureza, seus princípios e métodos.

A ciência clássica, por exemplo, fundou-se firmemente sobre a objetividade. Conhecer os fenômenos do universo demandava estudar seus componentes isolados, a fim de obter leis que fossem objetivamente universais. Conhecer significou, destarte, adquirir características objetivas, mensuráveis através da decomposição da realidade em elementos simples ou que constituiriam unidades básicas, indivisíveis, irreduzíveis. Os objetos seriam compostos, enfim, constituídos da mistura, da aglutinação de elementos essenciais e primários. Grosso modo, podemos dizer que dessa concepção, originou-se o reducionismo, que evidenciava a soberania das partes sobre o todo. Explicar é descobrir as partes mais elementares, delas derivar regras igualmente simples que, quando combinadas, revelariam o todo.

O reducionismo possibilitou inúmeros avanços do conhecimento. Porém, no decorrer da história da ciência, este mesmo progresso científico foi um dos motivos para que o então dominante paradigma reducionista começasse a se mostrar insuficiente ao evidenciarem-se as fragilidades dos pilares sobre os quais ele se equilibrava (SANTOS, 2010). A soberania das partes estava em xeque. O olhar deslocava-se, então, para o todo.

Na perspectiva de evidenciar a totalidade, o holismo emerge como alternativa ao reducionismo. O conhecimento das partes deixa de ser suficiente para a compreensão do todo: o todo é maior do que a soma de suas partes constituintes. Esse seria, a partir de então, a unidade funcional básica. Parte-se, com isso, do particular para o global, dos componentes elementares para a organização integral.

O dilema parte-todo derivou, desde então, inúmeras discussões e diversos filósofos e epistemólogos empenharam seus esforços em fornecer características, princípios e proposições metodológicas acerca do conhecimento científico optando por evidenciar um ou outro. Na medida em que a epistemologia se propõe a discutir a gênese e a estrutura da ciência e do conhecimento, é possível que se estabeleçam diferentes propostas de posições metodológicas sobre a explicação: de um lado o reducionismo, enfatizando o poder explanatório das partes e, de outro, o holismo, privilegiando a explicação no nível global.

Como decorrência disso, não existe, hoje, um conceito universal e atemporal acerca do que significa ciência e dos pressupostos metodológicos e epistemológicos que melhor operacionalizam a sua construção. Tampouco podemos dizer que existe uma única categoria de “ciência”; isso nos levaria a presumir que as diversas áreas do conhecimento, como, por exemplo, a Física, a Biologia, a Sociologia, poderiam se encaixar dentro de um mesmo critério de investigação de seus objetivos (CHALMERS, 1993).

Destarte, compreendemos que a definição de Ciência é naturalmente complexa. “É complexo o que não pode se resumir numa palavra-chave, o que não pode ser reduzido a uma lei nem a uma ideia simples” (MORIN, 2011a, p. 5). Na complexidade da ciência tecem-se juntos e mutuamente a sociedade, a tecnologia, a ética, o método, a teoria. Ela é efetivamente um tecido de ações, de incertezas, de dúvidas, de erros, de esperança.

Nosso trabalho está comprometido em pensar a ciência a partir do Paradigma da Complexidade de Edgar Morin. O próprio autor propõe o conceito de paradigma como um tipo de relação de conjunção ou disjunção muito forte entre alguns conceitos mestres e alguns princípios de inteligibilidade¹. Elencamos, a seguir, os mandamentos da Complexidade que nos são caros e sobre os quais nos alicerçamos para constituir nossa pesquisa, segundo Morin (2014b):

¹ Ao Paradigma da Complexidade correspondem sete diretivas para uma forma de pensamento que une ideias e conhecimentos complementares e interdependentes. Cada diretiva corresponde a um Princípio da Complexidade, a saber: *princípio sistêmico/organizacional*, *princípio hologramático*, *princípio do circuito recursivo*, *princípio do circuito retroativo*, *princípio de auto-eco-organização*, *princípio dialógico* e *princípio da reintrodução do conhecimento em todo conhecimento*. As ideias correspondentes a cada um desses princípios serão apresentadas e desenvolvidas nos capítulos que constituem a tese como forma de produzir um conhecimento do contexto e do complexo, no sentido original do termo *complexus*: aquilo que é tecido junto (MORIN, 2014b).

1. A necessidade de incluir e de fazer intervirem a história e o acontecimento em todas as descrições e explicações.
2. O reconhecimento da impossibilidade de isolar as unidades elementares e da necessidade de ligar o conhecimento dos elementos ou partes ao dos conjuntos ou sistemas dos quais fazem parte.
3. A necessidade de ultrapassar a noção simples de organização em busca de uma noção de auto-organização: a relação entre o todo e as partes é constituída simultaneamente de relativa autonomia e de profunda dependência.
4. A consideração dos fenômenos a partir de uma dialógica ordem/desordem/interações/organização.
5. A distinção, que não implica separação, entre o objeto ou o ser e seu ambiente. O conhecimento de toda organização demanda o conhecimento de suas “inter-retroações” com o seu ecossistema, com seu contexto, com o seu ambiente.
6. “O princípio de relação entre observador/concebedor e o objeto observado/concebido” (p. 333). A necessidade de introduzir o sujeito humano, situado em um contexto social, histórico e cultural.
7. “Princípio discursivo complexo, comportando a associação de noções complementares, concorrentes e antagônicas” (p. 334).
8. A necessidade de um pensamento dialógico capaz de ligar macro conceitos de maneira complementar.
9. Considerar o problema não da completude/dimensionalidade/certeza, mas da incompletude/multidimensionalidade/incerteza do conhecimento.

Nesse ponto, estabelecemos uma espécie de núcleo da Complexidade de onde partem e para onde convergem as ideias, os questionamentos e os conhecimentos que produzimos em nossa pesquisa. Na medida em que pensamos a ciência e o conhecimento como complexos, a polarização entre reducionismo-holismo seria necessária efetivamente? Seriam esses dois paradigmas mutuamente excludentes? Ou seriam ambos insuficientes e simplificadores quando considerados isoladamente? Seriam eles, ao invés de antagonistas, complementares?

O Paradigma da Complexidade nos leva a assumir que em diferentes áreas do conhecimento há de haver diferentes consensos sobre ciência, bem como sobre as

posições metodológicas mais adequadas para dar conta dos problemas de pesquisa. Reconhecidamente, o fazer científico é atravessado pelo contexto sócio histórico no qual a ciência é pensada. Ao longo dos séculos, as ideias sobre o que significa ciência, como se produz o conhecimento científico, como se estrutura o pensamento científico, a definição das hipóteses, leis e teorias foram sendo construídas sob diferentes óticas e influências, de modo que hoje podemos nos perguntar: uma ciência ou várias ciências?

Dessa forma, é necessário que cada sujeito tenha claro para si o que significa ciência e construa, a partir disso, sua epistemologia, tomando como ponto de partida o objeto de estudo da sua área específica, as posições metodológicas de explicação que melhor dão conta de investigar tal objeto e a sua concepção sobre como o conhecimento é construído. A partir disso, pode ser necessário escolher um paradigma em detrimento de outro, ou então fazer uma opção por não privilegiar nem um nem outro, mas valer-se dos princípios de um e de outro complementarmente.

Transpondo essas questões para o âmbito da educação, o ensino de ciências também demanda que o professor faça tais escolhas: delimitando quais saberes são estruturantes da sua disciplina e, por conseguinte, mais relevantes e necessários de serem desenvolvidos e apropriados pelos alunos, a partir de qual paradigma a sua ciência em particular se desenvolve, quais metodologias e recursos didáticos melhor abarcam as particularidades que caracterizam o ensino de sua disciplina e como esta se articula com outros conhecimentos que extrapolam a sua especificidade, estabelecendo a interface com outras disciplinas e áreas de conhecimento. O professor, na sua prática, também não escapa do dilema parte-todo...

Da mesma forma que não existe uma única epistemologia que dê conta de todas as ciências, não existe uma teoria absoluta que unifique de maneira coerente os conceitos, fenômenos e circunstâncias relativas ao ensino escolar. Cada ciência comporta uma epistemologia e uma didática próprias que possibilitam operacionalizar o ensino de seus conhecimentos específicos. Assim como a epistemologia pode abranger diferentes elementos, a didática igualmente se configura através de diversas metodologias e estratégias, cabendo a cada professor encontrar o seu caminho no seu fazer pedagógico.

Considerar a articulação entre ensino, ciência e epistemologia significa compreender que a docência nas diferentes ciências não pode dar-se fora, desarticulada e desconexa dos aspectos epistemológicos, sócio históricos e

ontológicos, pois deles decorre a delimitação do campo específico de cada ciência, bem como da maneira pela qual ela estabelecerá diálogos e articulações com as demais. Piaget (1977, p. 24) já sinalizava que “parece incontestável que o futuro do ensino das ciências irá depender cada vez mais da sua epistemologia”. O ensino não apenas levará em conta a estruturação epistemológica pelo sujeito-professor da ciência a ser ensinada por ele, mas também a concepção epistemológica que esse sujeito construiu do processo de aprendizagem humana, portanto da aprendizagem dos destinatários de seu ensino e do seu próprio processo de aprendizagem.

Professores que somos e conhecedores da realidade da prática docente nos questionamos: como cada professor constrói para si sua epistemologia? Essa construção, de fato, ocorre? Ou, devido a fatores como sobrecarga de trabalho, baixa remuneração, falta de tempo para formação continuada, entre tantos outros que perpassam a docência, ficaria essa necessária construção em segundo plano? É possível resgatá-la e estimulá-la nas escolas?

Tomamos como referência a grande área das Ciências da Natureza, constituída atualmente na escola básica pela Biologia, pela Física e pela Química, na qual a perspectiva dominante sobre o fazer científico durante muito tempo ancorou-se no método “lógico-experimental”. Tal perspectiva preconiza que o discurso produzido pela ciência precisa ser lógico, sem contradições, ordenado. Também precisa ancorar-se na experimentação, “espelhando-se na realidade empírica, girando em torno de dados mensuráveis, comprováveis e retestáveis” (DEMO, 2011, p. 10).

Esse modo de enxergar a ciência e o fazer científico é suficiente e necessariamente aplicável à Biologia, à Química e à Física? Ele dá conta de problematizar através do ensino as teorias, conceitos, leis, metodologias, visões de mundo que constituem cada campo específico da área? Se sim, em todos os contextos?

Recorremos a Piaget (1987) para ampliar nossa discussão. Conhecedor da biologia, ele assevera que o pensamento do biólogo é resolutamente realista por nunca duvidar da existência efetiva dos organismos vivos que estuda. O objeto de estudo da Biologia, os seres vivos, é real, concreto, não podendo esta constituir seu campo de conhecimento sem a primazia do seu objeto. Já para a elaboração do conhecimento físico-químico, podemos dizer que a primazia é o sujeito, sujeito e objeto equivalem-se: através da atividade do sujeito, dados exteriores são descobertos mediante experiências ou simulações; ao assimilar a realidade

experimental aos esquemas lógico-matemáticos, o sujeito constrói para si seu próprio objeto (PIAGET, 1987).

Isso posto, será que se aprende Biologia da mesma forma que se aprende Física e Química? As mesmas estratégias metodológicas e recursos didáticos dão conta de evidenciar a epistemologia particular de cada uma delas? O que aproximaria essas três ciências? Como articulá-las tendo em vista que elas igualmente constituem as Ciências da Natureza? Que conhecimentos constituem a interface Biologia-Física-Química, possibilitando uma abordagem integrada e integradora?

Compreendemos que existem pelo menos duas lentes através das quais precisamos enxergar a ciência: uma microscópica e outra macroscópica. No ensino das Ciências da Natureza, a lente macroscópica nos possibilita enxergar o todo, a articulação e a integração entre os componentes disciplinares que constituem a grande área, o que permite que se contextualize o conhecimento, problematize ou o extrapole tais conhecimentos para condições que vão além da especificidade. A lente microscópica nos faz enxergar o particular dentro da área, aquilo que delimita cada componente e, por conseguinte, caracteriza a sua epistemologia, evidenciando a importância e a natureza das partes.

Essa compreensão também se estende ao contexto escolar: a tendência atual do ensino leva em conta a necessidade de abarcar essas duas visões – ou de transitarmos da parte ao todo e vice-versa. As Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica² (DCN), que incluem as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), são o referencial oficial brasileiro que visam a auxiliar os professores na reflexão e discussão de sua prática pedagógica, fornecendo princípios, fundamentos e procedimentos que orientam a organização, articulação, desenvolvimento e avaliação das propostas pedagógicas nas escolas. Tais documentos estabelecem a divisão do Ensino Médio em quatro áreas do conhecimento: Ciências da Natureza, Ciências Humanas, Matemática e Linguagens e Códigos. Essa organização em áreas possibilitaria o englobamento de componentes curriculares que compartilham aspectos comuns de seus objetos de estudo, permitindo integração entre eles.

² BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Brasília: Ministério da Educação, 2013.

Todavia, articular os componentes curriculares em áreas do conhecimento não significa meramente operar a sua combinatória. Muito pelo contrário. “Agregar pleora de componentes simples levaria, no máximo, à totalidade complicada” (DEMO, 2002, p. 11), não necessariamente integrada/integradora e, por consequência, complexa. É preciso ter em mente que os próprios componentes são complexos entre si e em sua combinatória. A integração no sentido da Complexidade requer o esforço de alargar a base horizontal do conhecimento para além da especialização, da linearidade.

Na prática escolar, como essa articulação é construída pelos professores de cada área? Existem momentos de planejamento que oportunizem discussões acerca de estratégias que possam operacionalizar a aproximação dos diferentes conhecimentos? Qual a epistemologia que está por trás de cada área? Essa epistemologia que define a área dialoga com aquela que delimita cada disciplina individualmente?

Destacamos que as DCNEM, apesar do estabelecimento das áreas de conhecimento, reconhecem que cada ciência possui uma lógica própria, bem como metodologias próprias de investigação e diferentes modelos de explicação e interpretação dos fenômenos dos quais sua investigação se ocupa. Assim, também são estabelecidas orientações para o ensino de cada componente curricular que constitui as diferentes áreas.

O trabalho de Ricardo e Zylbersztajn (2008) discute como a interdisciplinaridade e a contextualização são apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio^{3,4} (PCNEM) e seus documentos complementares^{5,6}. Evidenciou-se que tais documentos não apenas apresentam uma articulação entre os conteúdos disciplinares através de temas estruturadores, como também assumem a contextualização como o grande princípio organizador do currículo e da prática escolar. Nesse movimento, a interdisciplinaridade é apontada

³ Os Parâmetros Curriculares Nacionais são diretrizes igualmente elaboradas pelo governo federal e, ao contrário das DCN, não são obrigatórias. Os PCNEM foram criados para servirem de referenciais para a renovação e reelaboração da proposta curricular da escola básica até a definição das DCN.

⁴ BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2004.

⁵ BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2004.

⁶ BRASIL, Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio**: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2006.

como o exame dos objetos de estudo de cada disciplina em seu contexto real, justificando com o fato de que a aprendizagem ocorre em situações reais, numa abordagem onde o contexto e a conexão entre os saberes são essenciais.

Os autores também mostram que, nos documentos, a interdisciplinaridade emerge como uma tentativa de evitar a compartimentalização dos saberes, a qual preconiza uma relação de complementaridade entre os conteúdos disciplinares, de integração de ideias e de conceitos. No entanto, ela assume um caráter instrumental quando trata dos saberes específicos das disciplinas para a resolução de problemas concretos ou para a compreensão de fenômenos. Por fim, o trabalho aponta que quando as discussões sobre interdisciplinaridade adentram campos metodológicos e epistemológicos torna-se difícil compreender a sua concepção.

Questionamos aqui se a apropriação desses documentos pelos professores de modo a compreender claramente as noções de interdisciplinaridade e contextualização ocorre efetivamente. Se sim, isso significa que as práticas pedagógicas estejam em consonância com a proposta desses documentos? Como o trabalho interdisciplinar por área chega, de fato, na escola?

Parece-nos que as orientações para um ensino contextualizado e pensado na articulação entre as disciplinas a partir das áreas de conhecimento que as aproximam, caminha na direção de uma perspectiva na qual a visão integrada da ciência e do conhecimento são priorizadas. Dos próprios documentos oficiais decorre essa compreensão, ao assumirem a interdisciplinaridade e a contextualização como noções centrais.

Salientamos, todavia, que uma abordagem que assuma um viés absolutamente integrador, interdisciplinar depende do mesmo princípio simplificador que o reducionismo (MORIN, 2014b). Nesse caso, a redução seria ao todo, ao sistêmico, ao resumir o ensino das disciplinas específicas a uma perspectiva essencialmente interdisciplinar do conhecimento. Assumiria, assim, a interdisciplinaridade um caráter simplório, já que as particularidades de cada ciência, suas especificidades parecem ser concebidas como artefatos para a compreensão do todo integrador?

Incomoda-nos pensar a interdisciplinaridade nesse contexto de simplificação, o que nos leva a questionar se, de fato, haveria algo de errado com o ensino até então bem organizado em disciplinas? O quanto a fusão destas e o ensino por macro áreas na escola realmente permite uma mudança de perspectiva em relação à Ciência e ao fazer científico? Faz sentido uma tensão entre disciplinaridade e interdisciplinaridade?

Apresentamos, como contraponto, os dados de outra pesquisa de Nascimento Jr. e colaboradores (2011) que, também, analisaram os PCNEM e seus documentos complementares evidenciando, porém, aspectos epistemológicos, sócio-históricos, conceituais e ontológicos da Biologia. O estudo evidenciou que, no que tange à Ciência, discussões acerca do método científico são escassas, a abordagem histórico-social da atividade científica é presente, sob um viés instrumental. Quanto à Biologia, a interpretação proposta pelos documentos curriculares sobre seus conceitos estruturantes – vida, organismo, natureza – é reducionista, ao considerar uma única perspectiva: a sua compreensão como sistemas, não oportunizando discussões acerca das controvérsias em torno das concepções desses conceitos.

Ainda de acordo com a análise dos documentos pelos autores, a Biologia se ocuparia de identificar regularidades, padrões para os processos e fenômenos biológicos para, a partir deles, estabelecer generalizações, das quais emergiriam teorias, modelos explicativos e leis que seriam, então, transpostos para situações de ensino-aprendizagem. Aqui, a análise evidencia igualmente uma visão reducionista, no sentido de, a partir de elementos mais simples, buscar explicações que deem conta do todo, sendo tais explicações generalizáveis e aplicáveis a outros fenômenos e processos que sejam constituídos por fatores e dados semelhantes. Contudo, a existência de leis e teorias na Biologia é uma discussão amplamente controversa na filosofia da Biologia⁷.

Desta vez, parece-nos que os documentos curriculares apontam, quando tratam da especificidade da disciplina Biologia, uma perspectiva de redução, que vai de encontro à ideia central de articulação entre as disciplinas e de contextualização. Como seria possível, assim, construir uma prática docente integrada/integradora se, no âmbito da disciplina específica – exemplificada nesse estudo pela Biologia – o paradigma de ensino predominante parece ancora-se em uma visão reducionista? Em que aspectos uma proposta no âmbito interdisciplinar dá conta de romper com essa concepção reducionista no ensino?

Tendo em vista que a integração dos componentes curriculares na escola requer uma mudança de atitude frente ao problema do conhecimento, na

⁷ Para uma apropriação maior sobre esse tema, sugerimos os seguintes trabalhos: RUSE, M.E. Are there laws in Biology? **Australasian Journal of Philosophy**, v. 48, n. 2, p. 234-246, 1970; SOBER, E. Two outbreaks of lawlessness in recent philosophy of biology. **Philosophy of Science**, v. 64, n. s1, p. S458-S467, 1997; MARTINS, L.A.P. (Ed.). **Filosofia e história da biologia**. Vol. 2. São Paulo: Fundo Mackenzie de Pesquisa, 2007.

disponibilidade para o estabelecimento de trocas intersubjetivas, a sua efetiva construção dependeria fundamentalmente da ação e disposição dos professores. A aceitação dessa proposta por parte deles e a conseqüente aproximação das disciplinas consegue, por si só, fazer com que a prática científica se torne uma atividade mais contextualizada?

Ao mesmo tempo, até que ponto a integração das disciplinas seria adequada para a compreensão de um mundo que é múltiplo e plural? Onde essa compreensão falha, não poderíamos recorrer ao pluralismo de ideias, metodologias, epistemologias, representado na escola pelo pluralismo disciplinar?

Voltamos, aqui, nossa atenção para a Biologia, componente da macro área Ciências da Natureza. Nascimento Jr. e colaboradores (2011), estabelecem que essa disciplina é constituída por quatro estatutos: o conceitual, o ontológico, o epistemológico e o sócio histórico. O estatuto conceitual abarca os conceitos estruturantes e as teorias das quais se ocupa a Biologia, o que inclui a organização dos seres vivos, a manutenção de sua homeostase, a herança e transmissão de características, a evolução e a interação entre as espécies no nível ecossistêmico. Quanto aos demais estatutos:

“O estatuto ontológico concentra a forma de ver o mundo na qual estas teorias foram elaboradas. A Biologia dialoga com os elementos constitutivos desse mundo por meio do método, ou seja, de estratégias e técnicas de investigação sustentadas por uma base teórica e procedimental que é mutável ao longo do tempo, mas que está revestida de consensos pela comunidade para visar garantir a cientificidade do processo de investigação de determinado objeto em estudo. Neste processo, se formulam teorias, leis, modelos com o propósito de explicar os fenômenos naturais ligados à vida. Apresentando, assim, um estatuto epistemológico. E, por último, reflete a história do período em que foi construída, instaurando, dessa forma, um estatuto sócio histórico da Biologia” (NASCIMENTO JR *et al.*, 2011, p. 231).

Possivelmente poderíamos estabelecer, com base nos mesmos critérios empregados pelos autores, os estatutos que estruturam a Física, ou aqueles que estruturam a Química, tomando como ponto de partida para isso o objeto de estudo de cada uma dessas ciências, enfatizando-se, assim, as partes. Poderíamos de igual modo, ampliar nosso olhar para o macro, para a conexão entre essas disciplinas nas Ciências da Natureza e, igualmente para esta, construir os estatutos que a caracterizam enquanto área, deslocando nossa ênfase, então, para a totalidade. O que queremos dizer com isso é que apesar da articulação necessária e integradora das disciplinas dentro de uma mesma área, não podemos deixar de lado o fato de que ao mesmo tempo em que estas disciplinas são complementares e mutuamente

dependentes dessa complementaridade, são também autônomas, requerendo para si elementos epistemológicos, conceituais, ontológicos e sócio históricos particulares e específicos.

Como consequência disso, como podemos ensinar Biologia sem perder de vista a sua especificidade, mas ao mesmo tempo possibilitando a sua compreensão enquanto constituinte de uma totalidade do conhecimento? Que conceitos estruturantes oportunizam uma maior aproximação dessa ciência com as demais? Quais aqueles que, por outro lado, permitem evidenciar a sua autonomia?

A complexa discussão acerca da relação parte-todo, que se desdobrará em diferentes posições metodológicas e epistemológicas de explicação na ciência, também servirá como ponto de partida, neste trabalho, para pensarmos o ensino no vaivém entre as partes que se relacionam, interagem e constituem a totalidade – os componentes disciplinares que integram uma mesma área de conhecimento. Seria a epistemologia dominante nas Ciências da Natureza – aquela historicamente ancorada no método experimental, na cientificidade que postula que a realidade seja entendida, ao final, como um agregado de leis e teorias verdadeiras, com hipóteses que requerem um encadeamento empírico rígido, com causas e efeitos – adequada ao ensino das particularidades da Biologia, da Física e da Química?

Partimos do princípio que as concepções sobre a natureza do conhecimento científico constituem uma importante dimensão da prática docente. A partir disso, pensamos ser possível que cada professor defina para si a epistemologia da sua ciência em particular e estabeleça as possibilidades de ensino que esta epistemologia engendra em um contexto de inter-relações que emergem com outras disciplinas.

OBJETIVOS

Dos questionamentos e reflexões que elencamos até então, estabelece-se a pergunta central que norteará nossa pesquisa: **como se constitui, na escola, a epistemologia da ciência Biologia na sua articulação com as Ciências da Natureza?** Tomando o ensino por áreas de conhecimento como a ferramenta alternativa ao ensino disciplinar, concebemos a Biologia e o seu ensino como uma das partes constituintes e constituída pela totalidade das Ciências da Natureza.

Explicitando nossa pergunta central como um **objetivo geral**, podemos concebê-la da seguinte maneira: compreender a epistemologia subjacente às Ciências da Natureza e, em particular à Biologia, no contexto do seu ensino na escola básica. Esse objetivo, reconhecemos, é amplo, sendo necessário seu desdobramento em **objetivos específicos** que igualmente se estabelecem a partir de nossa pergunta central, a saber:

- I. Organizar uma síntese das posições epistemológicas/metodológicas de explicação dos fenômenos associadas às Ciências da Natureza dentro da perspectiva da Complexidade. Ao transpor tais ideias para a Biologia, discutir as consequências dos aspectos epistemológicos e metodológicos abordados sobre a constituição de sua autonomia enquanto ciência legítima.
- II. Investigar como os professores de Física, Química e Biologia compreendem a epistemologia e o ensino das Ciências Natureza e, a partir disso, constroem para si a epistemologia de sua disciplina específica;
- III. No que se refere à Biologia, caracterizar a natureza do conhecimento biológico construído pelos professores nas suas práticas docentes.
- IV. Propor o conceito de *inter-poli-transbiologia* como um convite teórico à reflexão dos professores sobre suas práticas docentes e sobre o ensino de Biologia e para além dela.

O QUE SE VAI ENCONTRAR ADIANTE

Na sequência deste trabalho, no capítulo 1, intitulado “SOBRE O MÉTODO”, apresentamos e discutimos, a partir da Complexidade, nossa escolha pela pesquisa qualitativa e as estratégias que empregamos para coleta, análise e interpretação dos nossos dados.

No capítulo 2, “ENTRE O REDUCIONISMO E O HOLISMO, ONDE SE SITUA A BIOLOGIA?”, apresentamos um panorama das principais explicações epistemológicas dos fenômenos propostas e adotadas na ciência no desenrolar de sua história, marcadas pela polarização entre reducionismo e holismo. Ao estender

essa discussão para a Biologia, um resgate histórico da constituição e consolidação dessa ciência nos conduz à adoção das ideias do *princípio sistêmico/organizacional* como forma de superar o antagonismo reducionismo/holismo.

O capítulo 3, “PARA SE PENSAR O ENSINO A PARTIR DA COMPLEXA EMERGÊNCIA DA BIOLOGIA”, apresenta um resgate das condições de possibilidade que proporcionaram a emergência da Biologia entre as demais ciências. Também fazemos uma retomada da história da constituição da Biologia enquanto componente curricular ensinado nas escolas atualmente. Propomos, a partir disso, que o ensino de Biologia seja pensado a partir da *metáfora do holograma*, na tentativa de abarcar a epistemologia da ciência e da Biologia, os aspectos pedagógicos e didáticos relativos ao ensino, bem como a cultura e o contexto sócio político no qual a escola está imersa.

No capítulo 4, “SOBRE OS SUJEITOS PROFESSORES”, nos valemos do *princípio de auto-eco-organização* para desenvolver a nossa noção de sujeito a partir de Morin e Piaget. Essa noção nos conduzirá à apresentação de algumas características do grupo de professores participantes de nossa pesquisa e esclarecerá o porquê de nossa busca por uma compreensão que abarque o incompreensível, o inacabamento e a ignorância do conhecimento.

O capítulo 5, “CONCEPÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DE PROFESSORES DE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLOGIA NO CONTEXTO DO ENSINO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA NO ENSINO MÉDIO”, se propõe a apresentar e discutir os dados produzidos a partir das discussões em grupos focais realizados com professores de Física, Química e Biologia a fim de investigar como eles compreendem a epistemologia e o ensino das Ciências Natureza e, a partir disso, constroem para si a epistemologia de sua disciplina específica. À luz do *princípio do circuito retroativo* nossa discussão situa o ensino de Biologia frente àquilo que denominamos circuito produtor das Ciências da Natureza.

Na sequência, apresentamos e discutimos os dados coletados nas entrevistas episódicas com os professores de Biologia no capítulo 6: “A COMPLEXIDADE DE SE PENSAR E ENSINAR A CIÊNCIA BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA”. Nossa reflexão se constitui à vista do *princípio do circuito recursivo* para desenvolver uma compreensão sobre a natureza do conhecimento biológico construído pelos professores nas suas práticas docentes.

Por fim, nas CONSIDERAÇÕES FINAIS recorremos ao *princípio da reintrodução do conhecimento* e ao *princípio dialógico* para apresentar uma síntese daquilo que produzimos na tese e propor o conceito de inter-poli-transbiologia.

Sigamos, assim, na tentativa de colocar em suspensão reflexões que possam ajudar-nos a pensar a epistemologia da ciência e da Biologia no âmbito das Ciências da Natureza e a sua articulação com o ensino na escola básica. Reiteramos nosso pedido inicial: sabedores de que “[...] o futuro não é dado. Vivemos o fim das certezas” (PRIGOGINE, 2011, p. 197), que a aventura do conhecimento na qual adentramos seja permeada pelo diálogo permanente com a incerteza, com a dúvida, com a provisoriedade das ideias.

1 SOBRE O MÉTODO

Caminante no hay camino, se hace camino al andar.

Antônio Machado

[...] caminhar não é tanto ir de um lugar a outros, mas levar a passear o olhar. E olhar não é senão interpretar o sentido do mundo, ler o mundo.

Jorge Larrosa

*Para atingir o ponto que tu não conheces,
tu debes pegar o caminho que tu não conheces.*

San Juan de la Cruz

E NO CAMINHO, A COMPLEXIDADE!

Originalmente, a palavra método, de origem grega, significa seguir um caminho, caminhar. É preciso aceitar que às vezes caminhamos sem ter em vista um trajeto definitivo a ser percorrido e, perfazemos, assim, um andar que se constitui na medida em que avança. Da mesma forma, pensamos o método como algo que só possa se constituir durante a pesquisa, reformulando-se, reconstruindo-se e voltando-se para o ponto de partida para, enfim, seguir novamente em frente, transformado.

Concebemos o método aqui, de acordo com a ideia de Complexidade, que opõe o método à conceituação dita “metodológica”, na qual ela é reduzida a receitas técnicas (MORIN, 2013). O método, assim, deve inspirar-se em um princípio fundamental ou paradigma e é justamente neste que repousa a diferença.

Não se trata mais de obedecer a um princípio de ordem (eliminando a desordem), de claridade (eliminando o obscuro), de distinção (eliminando as aderências, as participações, as comunicações), de disjunção (excluindo o sujeito, a antinomia, a complexidade), ou seja, obedecer a um princípio que liga a ciência à simplificação lógica. Trata-se, ao contrário, de ligar o que estava separado através de um princípio de complexidade (MORIN, 2013, p. 37).

Assumimos, doravante, a Complexidade como forma de caminhar, como ferramenta para romper com as prescrições, regras e certezas. Somos cientes de que o pensamento complexo é animado por uma permanente tensão entre “a aspiração a

um saber não fragmentado, não compartimentado, não redutor, e o reconhecimento do inacabado e da incompletude de qualquer conhecimento” (MORIN, 2011a, p. 7).

Nossa opção pela pesquisa qualitativa

Incorporar a Complexidade como referência para o desenvolvimento de nossa investigação, significa que “[...] estamos condenados ao pensamento incerto, a um pensamento trespassado de furos, a um pensamento que não tem nenhum fundamento absoluto de certeza” (MORIN, 2011a, p. 69). Logo, como estratégia de ação para operacionalização de nossa pesquisa não podemos conceber outra abordagem metodológica que não seja a qualitativa. Se estamos comprometidos com o pensamento complexo, estamos comprometidos igualmente com a flexibilidade, com a profundidade de significados, com a extensão, com a riqueza interpretativa, com a não-linearidade inerentes ao enfoque qualitativo.

Para Creswell (2010), os pesquisadores que se envolvem nessa forma de investigação encaram a pesquisa que honra um foco no significado individual e na importância da interpretação da complexidade da realidade. Se concebemos que a realidade é múltipla e atravessada por elementos que são, simultaneamente antagônicos e complementares, a pesquisa qualitativa passa a ser uma valiosa ferramenta ao lidar com questões, procedimentos e dados que emergem tipicamente do ambiente, dos contextos, das organizações, das ações, das vidas das pessoas.

“O principal foco da pesquisa qualitativa é entender as formas como as pessoas agem e explicar suas ações” (GRAY, 2012, p. 137, grifo nosso). Esse pressuposto nos é absolutamente caro na medida em que nossa pesquisa envolve sujeitos professores, que, enquanto humanos, são, sobretudo, seres sociais cujas ações se desenvolvem como em uma teia, atravessada por interações, retroações, interferências que não podem ser simplificadas. Morin nos exorta:

[...] o sujeito também emerge de seus caracteres existenciais [...]. Ele traz em si sua irreduzível individualidade, sua suficiência (enquanto ser recursivo que sempre se fecha em si mesmo) e sua insuficiência (enquanto ser “aberto” irresolúvel em si mesmo). Ele traz em si a brecha, a rachadura, o desgaste, a morte, o além. (2011a, p. 38).

A partir disso, assumimos a pesquisa qualitativa como meio para explorar, interpretar, compreender o significado que os sujeitos atribuem a um problema social ou humano (CRESWELL, 2010).

O enfoque qualitativo utiliza variáveis não-numéricas. Os dados que interessam são de texto, imagem e som e emergem pouco a pouco, não de forma abundante a fim de garantir a representatividade da amostra, mas em um número relativamente pequeno de casos, a serem estudados em profundidade. Não se objetiva manipular as informações experimentalmente e tampouco generalizar os resultados de maneira probabilística para populações mais amplas; normalmente nem se pretende que os estudos possam ser replicados (SAMPLERI *et al.*, 2013). Interessa-nos investigar o desenvolvimento natural dos acontecimentos, o que não pode ser mensurado e predito estatisticamente.

Com isso, evidenciam-se as possibilidades da pesquisa qualitativa na medida em que os tipos de dados a serem coletados são muito diversificados. Embora, em termos gerais, a maioria dos estudos dessa natureza opte pela assimilação de dados na forma de palavras (transcrições de entrevistas e de observações, anotações em diários de campo, por exemplo), na pesquisa qualitativa a adoção de métodos e estratégias tende a ser altamente flexível em termos da diversidade de tipos de dados a que se aplica (GRAY, 2012). Em verdade, não é o caso de se optar por uma estratégia em detrimento de outra, mas de frequentemente combinar várias estratégias, técnicas de pesquisa, habilidades sociais, de acordo com a necessidade de cada investigação.

Esse pressuposto nos é absolutamente valioso: a flexibilidade nos possibilita a não linearidade, de onde “[...] emergem utopia, esperança, revolta, confronto” (DEMO, 2002, p. 127). Daí nos valem de outra característica da pesquisa qualitativa: a sua natureza dinâmica. Além da flexibilidade na escolha do percurso metodológico, vale a pena observar que mesmo tendo já planejado a coleta de determinado tipo de dado, esse planejamento pôde ser revisto e mudado no decorrer da pesquisa. Reconhecemos que isso vai ao encontro da constituição de um dos princípios de inteligibilidade da complexidade: a “[...] necessidade inelutável de fazer intervirem a história e o acontecimento em todas as descrições e explicações” (OLIVEIRA, 2000, p. 332).

Na medida em que “o método é a atividade pensante do sujeito” (OLIVEIRA, 2000, p. 337), se estamos comprometidos com um pensamento que distingue e une,

que reconhece e trata as realidades, que busca compreender a multidimensionalidade dos fenômenos, é necessário pensarmos um método que escape à certeza, à clareza, à coerência e à redundância. Assim, nos identificamos com aquilo que Sampieri e colaboradores identificam como uma das atividades do pesquisador qualitativo: ser “[...] capaz de trabalhar com paradoxos, incertezas, dilemas éticos e ambiguidade” (2013, p. 35, grifo nosso). Se ampliarmos nossa perspectiva, nos damos conta de que a própria ciência é um permanente diálogo com a incerteza, diálogo cujas peripécias foram imprevisíveis (PRIGOGINE, 2011). A própria história do universo, do cosmo, da vida é uma gigantesca aventura criativa e destrutiva, marcada desde o início por metamorfoses que teriam sido praticamente impossíveis de serem preditas. A própria biologia desembocou na incerteza:

Se o aparecimento da vida corresponde à transformação de um turbilhão de macromoléculas e a uma organização de novo tipo, capaz de se auto organizar, auto consertar, auto reproduzir, apta a retirar de seu meio ambiente a organização, a energia, a informação, sua origem não parece obedecer a nenhuma necessidade inevitável. Continua sendo um mistério sobre o qual não deixam de ser elaborados roteiros. Seja como for, a vida só pode ter nascido de uma mistura de acaso e necessidade, cuja composição não sabemos dosar (MORIN, 2012a, p. 57).

Se ainda não estamos seguramente convencidos quanto às condições que possibilitaram o aparecimento da vida, mais ainda essa incerteza permanecerá premente se pensarmos no sentido de nossas vidas humanas. Nossa condição demanda que nos preparemos para o nosso mundo incerto e para aguardar o inesperado (MORIN, 2012a).

De certa forma, também lidamos com a aleatoriedade, visto que nossa pesquisa pode ser considerada mais como “[...] uma série de iterações envolvendo desenho, coleta de dados, análise preliminar e redesenho” (GRAY, 2012, p. 142). Assim, quando conservarmos e descobriremos em nossa investigação pequenos arquipélagos de certezas, devemos nos recordar de que, na verdade, estamos navegando em um oceano de incertezas (MORIN, 2012).

DESENHO DA PESQUISA

Todo conhecimento constitui, ao mesmo tempo, uma forma de tradução e reconstrução a partir de sinais, signos, símbolos, sob a forma de representações, de

ideias, de teorias, de discursos (MORIN, 2012a). Deste modo, o desenho de uma pesquisa situa-se entre um conjunto de perguntas, de dados, de informações, que buscam evidenciar como serão abordadas as questões sobre as quais se debruça a pesquisa (GRAY, 2012) na tentativa de traduzir e reconstruir a realidade investigada e torná-la compreensível.

Retomamos a pergunta norteadora de nossa pesquisa, a saber: **como se constitui, na escola, a epistemologia da ciência Biologia na sua articulação com as ciências da natureza?** Partindo dela, explicitamos os objetivos, geral e específicos, recuperados no Quadro 1. Concebemos tais objetivos não como estanques, mas como formas de abarcar diferentes elementos constituintes da pesquisa.

Quadro 1. Objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa.

Objetivo Geral
Compreender a epistemologia subjacente às ciências da natureza e, em particular à Biologia, no contexto do seu ensino na escola básica.
Objetivos Específicos
I. Organizar uma síntese das posições epistemológicas/metodológicas de explicação dos fenômenos associadas às Ciências da Natureza dentro da perspectiva da Complexidade. Ao transpor tais ideias para a Biologia, discutir as consequências dos aspectos epistemológicos e metodológicos abordados sobre a constituição de sua autonomia enquanto ciência legítima.
II. Investigar como os professores de Física, Química e Biologia compreendem a epistemologia e o ensino das Ciências Natureza e, a partir disso, constroem para si a epistemologia de sua disciplina específica;
III. No que se refere à Biologia, caracterizar a natureza do conhecimento biológico construído pelos professores nas suas práticas docentes.
IV. Propor o conceito de <i>inter-poli-transbiologia</i> como um convite teórico à reflexão dos professores sobre suas práticas docentes e sobre o ensino de Biologia e para além dela.

Fonte: elaborado pela autora.

Destacamos que a investigação dos objetivos propostos foi perpassada pela pesquisa de fontes secundárias e de referências teóricas, pelo levantamento de dados

complementares e pela pesquisa de outros trabalhos científicos relacionados à epistemologia e ao ensino de biologia. Com isso, visamos a uma constante articulação entre os dados referentes ao objeto de estudo e os objetivos investigados.

Estratégias para coleta de dados

Compreendermos, a partir de Sampieri e colaboradores (2013), que no processo qualitativo de investigação, o planejamento, coleta dos dados e sua interpretação são fases indissociáveis e realizadas praticamente de maneira simultânea. No entanto, para fins didáticos em favor de uma melhor compreensão dessas etapas, optamos por apresentar primeiramente as estratégias delineadas para acessar o conjunto de informações de nosso interesse para, posteriormente, discutir as ações que julgamos mais adequadas para sua análise e compreensão.

É útil distinguir, portanto quatro dimensões que perpassaram a nossa investigação e que descrevem o nosso processo de pesquisa. Primeiro, delineamos nossa pesquisa de acordo com os princípios qualitativos e da complexidade, conforme discutido anteriormente. Segundo, nossos métodos de coletas de dados incluíram diferentes fontes a partir do desenvolvimento de grupos focais e entrevistas. Terceiro, procedemos ao tratamento analítico dos dados, a partir da análise de conteúdo. Finalmente, partimos para a interpretação e construção do conhecimento que emergiu a partir da segunda e da terceira dimensões.

Coleta de dados verbais: grupos focais

Para operacionalização dos objetivos específicos de nossa pesquisa, procedemos à coleta de dados verbais mediante duas estratégias diferentes delineadas em complementaridade: os grupos focais a fim de dar conta do segundo objetivo específico; e a realização de entrevistas episódicas para abarcar o terceiro objetivo.

Nossa opção pela realização dos grupos focais considerou um aspecto que tal metodologia preconiza e que nos é demasiado caro: a *interação* entre os participantes do grupo. Com as discussões, uma espécie de senso coletivo vai se estabelecendo, os significados vão sendo negociados e as identidades elaboradas pelos processos de interação entre os participantes (BARBOUR, 2009). Através disso, os dados gerados a partir das discussões vão refletindo tanto ambiguidades quanto conflitos, muito mais do que consensos.

Os grupos focais foram pensados no contexto de nossa pesquisa como uma estratégia que oportunizasse discussões acerca de tópicos mais amplos relativos às Ciências da Natureza, a partir da discussão e interação entre participantes com formações de diferentes áreas que a constituem. Logo, optamos por compor grupos com professores licenciados em Química, Física e Biologia e que atuassem nos respectivos componentes curriculares em escolas de Ensino Médio da rede pública estadual de ensino. Por questões de logística, os grupos foram delineados incluindo professores que trabalhassem na mesma escola, em Porto Alegre.

Realizamos cinco discussões focais, em cinco escolas diferentes, com cinco grupos diferentes de professores que atuavam na mesma instituição. Cada grupo incluiu um professor de cada componente curricular: Biologia, Física e Química. A duração média das discussões foi de 80 minutos, incluindo o momento inicial de apresentação da pesquisa, da dinâmica e dos participantes.

As discussões nos grupos foram delineadas a partir de uma série de questões e tópicos para discussão que culminaram em um guia, cuja primeira versão foi analisada por professores da área de Educação/Ensino de Ciências que apontaram sugestões a fim de melhor construí-lo. O guia reformulado foi, então, examinado a partir da realização de um grupo focal piloto. Deste, por fim, novas considerações emergiram, as quais deram origem à versão utilizada (APÊNDICE A).

Tendo em vista que algumas discussões podem ser marginais e que, em outras situações, todos os elementos podem ser altamente significativos conforme os objetivos, ficamos cientes de que algumas questões poderiam se tornar mais importantes do que outras e isso deveria ser levado em conta. Isso fez com que não tivéssemos necessariamente a obrigatoriedade de utilizar, de modo exaustivo, todos os dados obtidos, mas sim nos abriu a possibilidade de nos debruçarmos com maior profundidade sobre aquilo que foi mais relevante no contexto de nossa pesquisa.

Coleta de dados verbais: entrevistas episódicas

Procedemos à utilização de entrevistas episódicas devido à sua particularidade de proporcionar acesso ao conhecimento cotidiano sobre determinado tema, processo ou objeto, partindo da contextualização das experiências, acontecimentos e argumentos que emergem do ponto de vista do entrevistado (FLICK, 2014).

O ponto de partida para a realização da entrevista episódica é a suposição de que as experiências de um sujeito sobre um determinado domínio sejam armazenadas e lembradas na forma de dois tipos de conhecimento: conhecimento narrativo-episódico e conhecimento semântico (FLICK, 2009a; 2014). O primeiro tipo de conhecimento relaciona-se a circunstâncias concretas, é parte do conhecimento do mundo, aproximando-se das experiências pessoais; o segundo, é mais abstrato e generalizado e descontextualizado de situações e acontecimentos específicos, sendo os conceitos e as relações entre si as unidades centrais. Para Flick (2014, p. 116), “[...] os dois tipos de conhecimento são partes complementares do “mundo do conhecimento”.

A fim de tornar acessíveis ambas as formas de conhecimento, as entrevistas episódicas devem combinar convites para narrar acontecimentos concretos relevantes ao tema de estudo com perguntas mais gerais que busquem respostas mais amplas; devem mencionar situações concretas que permitam pressupor que os entrevistados possuem determinadas experiências; devem ser suficientemente abertas para que o entrevistado possa selecionar episódios ou situações que ele queira narrar (FLICK, 2014). A partir disso, assume-se que ao reunir e analisar o conhecimento narrativo-episódico através das narrativas, torna-se acessível o conhecimento semântico por meio de questões concretas propositais (FLICK, 2009a).

A utilização de entrevistas episódicas foi pensada como forma de ampliar alguns pontos de discussão no que se refere à Biologia e ao seu ensino de maneira complementar aos grupos focais. Assim, as entrevistas contemplaram apenas os professores de Biologia participantes dos grupos focais, dado que nesta etapa da pesquisa, voltamos nosso olhar para as especificidades da Biologia e do seu ensino nas escolas, sem perder de vista sua conexão com os outros dois componentes curriculares das Ciências da Natureza: a Física e a Química. Ao final da coleta de

dados, totalizamos quatro entrevistas, não cinco. Isso porque um dos professores optou por não participar desta etapa e teve a sua escolha plenamente respeitada.

A primeira fase de planejamento das entrevistas episódicas baseia-se na elaboração de um guia de entrevista com a finalidade de “orientar o entrevistador para os campos específicos a respeito dos quais se buscam narrativas e respostas” (FLICK, 2014, p. 118). Para a construção de nosso guia, foram consideradas diferentes fontes: a experiência da pesquisadora na área de estudo, as dimensões teóricas tanto da área da epistemologia da Biologia quando daquela referente ao seu ensino e resultados de outros estudos relacionados à temática. A primeira versão do guia, foi apreciado por professores da área de Educação/Ensino de Ciências, cujas sugestões foram incorporadas. Após a observação das contribuições, o roteiro de perguntas foi então examinado através da realização de uma entrevista piloto. Do piloto emergiram pequenas modificações que resultaram, então, na versão adotada (APÊNDICE B).

ESTRATÉGIAS PARA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Análise de conteúdo

A análise de conteúdo é uma metodologia de pesquisa amplamente empregada para descrever e interpretar o conteúdo de diferentes fontes de dados. De acordo com Bardin (2009), a análise de conteúdo consiste em um conjunto de técnicas de investigação que emprega procedimentos sistemáticos e objetivos para descrição e interpretação do conteúdo das mensagens comunicadas. Ao conduzir o pesquisador a descrições sistemáticas e auxiliando-o a reinterpretar as mensagens, a análise de conteúdo oferece a possibilidade de atingir uma compreensão dos significados dos dados que vai além de uma leitura comum (MORAES, 1999).

Destacamos que qualquer análise de conteúdo visa a determinação das condições de produção dos textos, que são seu objeto: o que se tenta caracterizar não é o texto em si, mas o conjunto das condições de produção que constitui o campo das determinações dos textos (BARDIN, 2016). Isso sugere que o fundamento da especificidade da análise de conteúdo repousa na articulação entre a superfície dos

textos, descrita e analisada; e os fatores determinantes destas características, deduzidos logicamente (BARDIN, 2016). Destarte, a análise de conteúdo enquanto conjunto de técnicas de análise e interpretação de dados procura conhecer “[...] aquilo que está por trás das palavras sobre as quais se debruça” (BARDIN, 2016, p. 50).

Após a transcrição dos dados produzidos nas entrevistas e discussões focais, como técnica de análise de conteúdo, procedemos à análise categorial. A técnica funciona por operações de desmembramento das transcrições das mensagens em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos (BARDIN, 2016). Dentre as possibilidades de categorização, optamos pela investigação dos temas, ou análise temática, que possibilita interpretar os núcleos de sentido que compõe uma mensagem cuja presença ou frequência sejam de interesse de acordo com os objetivos estabelecidos (Bardin, 2016).

A análise foi desenvolvida de acordo com Bardin (2016) que propõe o procedimento em três etapas:

a) pré-análise: consiste inicialmente na leitura flutuante do material – mediante um contato exaustivo com o mesmo a fim de conhecer seu conteúdo –, na constituição do corpus – organização do material a fim de contemplar determinadas normas de validade como exaustividade (deve-se esgotar a totalidade do texto; por exemplo, todos os aspectos do guia de entrevistas/discussão focal foram contemplados?); representatividade (que o material represente de maneira fidedigna o universo em estudo); homogeneidade e pertinência (os conteúdos devem ser adequados aos temas e aos objetivos do trabalho) – e, finalmente, a reformulação de hipóteses e objetivos, com vistas à determinação da unidade de registro (o tema, no nosso caso), da unidade de contexto (a definição do contexto de compreensão da unidade de registro), dos recortes, da forma de categorização, da modalidade de codificação e dos conceitos teóricos mais gerais que nortearão a análise.

b) exploração do material: que consiste na escolha da unidade de análise e na codificação sistemática do material.

c) tratamento dos resultados, inferência e interpretação: os resultados brutos podem ser submetidos a análises estatísticas – o que não foi realizado por motivos que acreditamos ter esclarecido no começo deste capítulo –, são feitas inferências e interpretações de acordo com o referencial teórico adotado pelo pesquisador.

A codificação pode partir do próprio material, durante a fase de exploração, ou pode adotar um conjunto de categorias como ponto de partida (FLICK, 2009a).

Optamos por combinar as duas estratégias a fim de permitir que a análise permanecesse aberta e dinâmica na medida em que se processava. Do processo de codificação resulta um sistema de categorias, que reúnem as unidades de registro sob um título genérico em razão das características comuns destes elementos (BARDIN, 2016). A operação de classificação e reagrupamento dos elementos por critérios de semelhança ou analogia, de acordo com os critérios estabelecidos, corresponde à categorização. Para categorização de nossos dados adotamos o critério semântico, que origina categorias temáticas⁸.

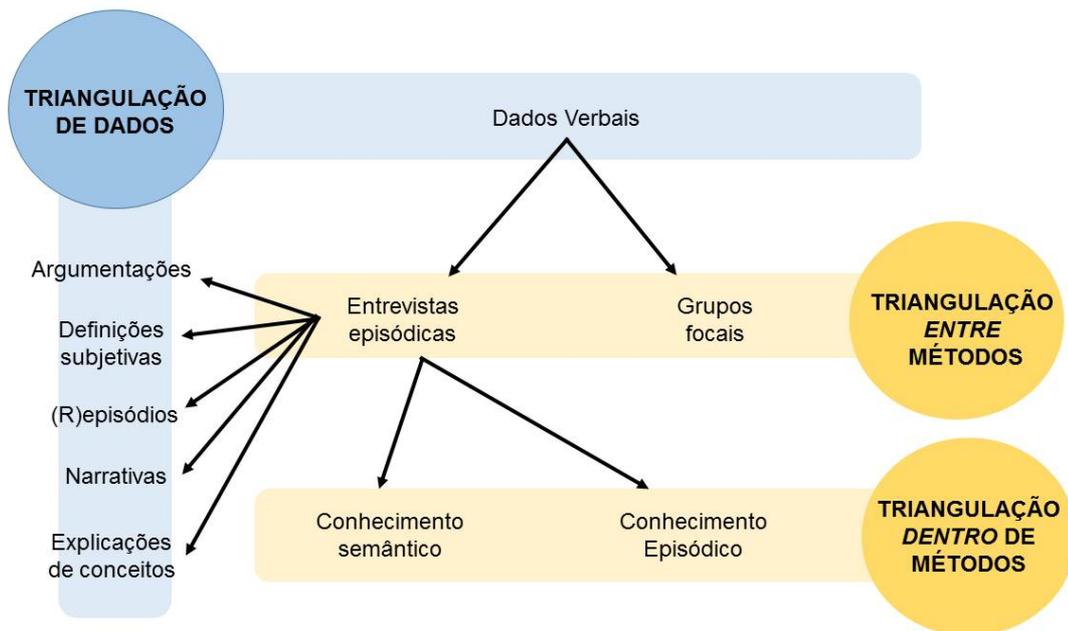
Triangulação

A triangulação é a palavra-chave para designar a articulação de “diversos métodos, grupos de estudo, ambientes locais e temporais e perspectivas teóricas distintas” (FLICK, 2009a p. 361) para tratar de uma determinada questão. Em princípio, portanto, “a triangulação reduz as fontes de erro ao coletar dados de várias fontes ou usar diversos métodos ou abordagens teóricas” (GRAY, 2012, p. 337).

Procedemos ao emprego de dois tipos de triangulação: a de dados e a metodológica (Figura 1). O primeiro refere-se ao uso de diferentes fontes de dados, no nosso caso, acessados através das entrevistas episódicas, entre eles dados oriundos de argumentações, definições de exemplos, explicação de conceitos, entre outros.

⁸ As categorias construídas e empregadas nas análises de conteúdo dos dados provenientes dos grupos focais e das entrevistas episódicas que realizamos serão apresentados nos Capítulos 5 e 6, respectivamente, ocasião em que nos debruçamos em profundidade sobre a discussão e interpretação desses dados.

Figura 1. Estratégias de triangulação empregadas na pesquisa.



Fonte: elaborado pela autora.

A triangulação metodológica envolve o processo de comparar diferentes métodos como forma de maximizar a validade dos esforços de campo e pode ser dividida em dois subtipos: triangulação *dentro* de métodos e *entre* métodos. A triangulação *dentro* de métodos “visa a uma combinação sistemática de diferentes abordagens no contexto de um método” (FLICK, 2009b, p. 98). Esse subtipo de triangulação se deu na nossa pesquisa através da realização das entrevistas episódicas. Na medida em que essas entrevistas contemplam duas abordagens de conhecimento – narrativo-episódico e semântico conceitual – diferentes tipos de perguntas conduziram a diferentes perspectivas teóricas que estão interligadas, assim como as abordagens metodológicas delas resultantes (FLICK, 2009b) – e que levaram, por conseguinte a diferentes tipos de dados.

À medida que, além das entrevistas episódicas, também procedemos à coleta de dados verbais através de grupos focais, recorreremos à triangulação *entre* métodos. Para que as potencialidades da triangulação *entre* métodos possam ser plenamente exploradas, é importante que pelo menos um dos métodos empregado seja especificamente adequado a explorar os aspectos estruturais do problema, enquanto pelo menos um outro método, permita captar os elementos essenciais de seu sentido para os envolvidos (FLICK, 2009b). Em nosso estudo, contemplamos essa premissa

ao combinarmos as entrevistas episódicas – que permitem o conhecimento do cotidiano e um conhecimento especializado e biográfico – com os grupos focais – que oportunizam um contexto interativo, operando, assim, em um nível diferente das entrevistas individuais. Com isso, nossa pesquisa triangula duas perspectivas: uma reconstrutiva, subjetiva e intencional (entrevistas episódicas) e outra interacionista e interpretativa (grupos focais).

QUALIDADE E ÉTICA NA PESQUISA

De antemão, assumimos que a qualidade da pesquisa qualitativa muito mais se refere à solidez do processo de pesquisa. Somente nesse nível, de processo, pensamos ser possível engendrar uma discussão sobre qualidade que vá muito além daquilo que se possa avaliar com a aplicação de critérios como validade, representatividade, reprodutibilidade e generalização, tão comumente associados ao rigor das pesquisas científicas.

Enquanto processo, a pesquisa qualitativa significa sempre “um ato criador vivo, porém sustentado pela matéria-energia de uma organização preexistente” (GALEFFI, 2009, p. 37). E inacabado. E aberto. Reiteramos que o problema da Complexidade não é o da completude, mas antes o da incompletude do conhecimento (MORIN, 2014b). Como produto da pesquisa qualitativa, emerge uma combinação nova, desconhecida em relação àquilo que possa já ter sido produzido no contexto no qual se inscreve a pesquisa.

Para Galeffi (2009), pensar o rigor e, por conseguinte, a qualidade da pesquisa qualitativa significa reconhecer e compreender sua flexibilidade, sua complexidade, refutando imediatamente a rigidez de uma percepção ou conhecimento que deva se sustentar e consistir, durar e permanecer estável. Deste modo, rigor, qualidade, flexibilidade e complexidade andam entrelaçados, tensionando-se e equilibrando-se mutuamente.

A qualidade e o rigor da pesquisa qualitativa dizem respeito muito mais à qualidade e rigor do pesquisador “e nada tem a ver com uma exteriorização metodológica de passos e regras de como conduzir uma investigação científica consistente” (GALEFFI, 2009, p. 44). Isso se reflete, em termos práticos, na definição

dos objetivos e justificativas do projeto de pesquisa de forma clara; na constante auto avaliação tanto do planejamento do processo quanto do andamento da pesquisa; no emprego de métodos apropriados para estudo dos objetivos estabelecidos; no uso da triangulação que, quando bem aplicada, ampliará, adensará e aprofundará a base interpretativa do estudo (FLICK, 2009a; 2009b).

No que diz respeito aos métodos que julgamos apropriados para nossa coleta de dados, assumimos, então, que a qualidade dos grupos focais e das entrevistas episódicas não pode ser julgada simplesmente pela aplicação de critérios como fidedignidade e validade. No entanto, Flick (2014) considera que alguns aspectos da qualidade estão estreitamente relacionados a esses critérios. A fidedignidade das discussões focais e das entrevistas episódicas, por exemplo, pode ser aumentada através de um treinamento do pesquisador para a condução desses processos e pela análise detalhada de entrevistas e discussões piloto. Estes dois procedimentos foram observados antes de iniciarmos a coleta de dados efetivamente.

Uma segunda recomendação de Flick (2014), é que se construa uma documentação detalhada e cuidadosa da entrevista e das discussões focais e do contexto daquilo que foi narrado ou dito pelos entrevistados e participantes. Nossos guias de entrevista e de discussões nos grupos focais previram, ao final, um espaço para registro dessas informações (vide APÊNDICES A e B), que foram registradas imediatamente após o término das entrevistas.

A terceira sugestão a fim de garantir a qualidade desses métodos, refere-se à realização de uma transcrição meticulosa de toda a entrevista e de toda a discussão. Procedemos desta maneira, preocupando-nos em transcrever com cuidado os dados produzidos no menor intervalo de tempo possível após o seu encerramento.

Flick (2009b) considera que a qualidade da pesquisa qualitativa e a ética estão estritamente relacionadas. Para o autor, a primeira é uma pré-condição para a segunda. Isso porque seria antiético conduzir uma pesquisa cuja qualidade não seja garantida no decorrer de todo o seu desenvolvimento. “A boa pesquisa é eticamente mais legítima à medida que vale a pena as pessoas investirem seu tempo nela e relevar sua própria situação” (FLICK, 2009b, p. 24). Ou seja, se a qualidade da pesquisa não for alta, torna-se absolutamente antiético fazer com que os participantes exponham sua realidade, suas crenças, suas opiniões, expondo, assim, sua privacidade.

Ao mesmo tempo em que a ética depende da qualidade, considera-se que essa dependência seja, na verdade, mútua. Proteger os dados, informar os participantes claramente sobre a pesquisa e a forma como sua participação será explorada, respeitar a privacidade dos mesmos, respeitar as opiniões e a maneira como cada participante está disposto a contribuir são requisitos para que a pesquisa tenha qualidade (FLICK, 2009b). Assim, é imprescindível assegurar o consentimento informado, ou seja, assegurar que os participantes da pesquisa receberam informação suficiente e acessível sobre a pesquisa para que possam tomar uma decisão informada sobre seu envolvimento e contribuição ou não (GRAY, 2012).

A fim de garantir que os participantes tivessem acesso à toda e qualquer informação que julgassem importante sobre a pesquisa, elaboramos dois documentos que foram discutidos e disponibilizados aos professores envolvidos nas etapas de coletas de dados através dos grupos focais e das entrevistas episódicas. O primeiro consistiu em um folheto de Informação aos Participantes que descrevia a natureza e o propósito da pesquisa (APÊNDICE C) e continha itens que elucidavam sucintamente os objetivos da pesquisa, como se daria a participação e durante quanto tempo, o que seria feito com os dados gerados, informavam acerca do caráter voluntário do envolvimento do participante bem como da garantia do anonimato de cada um dos envolvidos. Esclarecidos os termos deste informativo, cada participante autorizou formalmente sua participação consentida, preenchendo o termo de consentimento (APÊNDICE D). Ao final, caso restassem dúvidas ou necessidade de informações adicionais durante o processo da pesquisa ou futuramente, os dados de contato da pesquisadora foram indicados nos dois documentos.

2 ENTRE O REDUCIONISMO E O HOLISMO, ONDE SE SITUA A BIOLOGIA?

O simples é sempre simplificado.

Bachelard

Se eu encontrar qualquer outro capaz de ver as coisas na sua unicidade e na sua multiplicidade, eis o homem que me guiará como um Deus.

Platão (*Fedra*)

Discussões acerca do que é o conhecimento, de como chegamos a conhecer e compreender a realidade são tão antigas quanto a ideia de ciência e, na verdade, estão a ela atreladas intimamente. Tais discussões perpassam uma questão central: o entendimento dos fundamentos, conceitos e metodologias que cada uma das diferentes áreas do conhecimento adota como referência.

Se olharmos para a história da ciência compreendemos que o modo como ela constrói explicações para os fenômenos da realidade é dinâmico, estando em constante movimento de (re)construção e atravessado pelo contexto sócio histórico. Logo, a epistemologia se constitui como uma permanente reflexão sobre a natureza e o objeto de uma ciência (ANDRADE, 2011).

Buscamos fazer aqui um resgate das principais explicações epistemológicas dos fenômenos propostas e adotadas na ciência no desenrolar de sua história, marcadas por um forte antagonismo entre o reducionismo, de um lado, e os seus críticos, geralmente associados ao paradigma holístico, de outro. Nossa reflexão vai ao encontro da ideia de que a polarização entre o holismo e o reducionismo pode representar uma falsa opção (EL-HANI, 2000), resultando em uma série de mal-entendidos que contribuem para que a ciência seja compreendida de maneira simplificada. Recorreremos, nesse percurso, ao princípio sistêmico/organizacional da Complexidade, que liga o conhecimento das partes ao conhecimento do todo e nos impele a conceber o reducionismo e o holismo não mais como antagônicos, mas sim como complementares, a fim de abandonarmos o pensamento caolho (MORIN, 2014b).

Este resgate nos será caro na tarefa de buscarmos compreender, então, como essas posições foram transpostas para a Biologia, oportunizando que ela pudesse

adquirir o *status* de ciência e requerer sua autonomia em relação às demais ciências, especialmente à Física.

AS CONDIÇÕES POR DETRÁS DO REDUCIONISMO

A posição epistemológica historicamente mais robusta e, da qual outras posteriores derivaram seja, possivelmente, a reducionista. Nela, as partes têm prioridade sobre a totalidade, que, constituindo, ao final, um grande agregado, nada mais seria que uma sequência que sempre teria como primazia as partes. A concepção do reducionismo, acreditamos, emergiu a partir de um cenário de grande revolução na ciência e de modificações e inovações na estrutura lógica espaço-temporal através da qual o homem buscava situar-se no mundo, acompanhado por ideias filosóficas estreitamente relacionadas com conceitos fundamentais da ciência (HEISENBERG, 1959). Nesse cenário, consideramos que as sucessivas contribuições de filósofos como Galileu Galilei, René Descartes, Francis Bacon e Isaac Newton, consideradas no seu conjunto, representam as condições filosóficas-epistemológicas que proporcionaram o advento do reducionismo.

Grün (2012) identifica Galileu Galilei (1564-1642) como o pivô da revolução científica que abandonaria a física aristotélica, ancorada na ideia de natureza como algo animado e vivo, na qual as diferentes espécies de organismos procuram realizar seus fins naturais. A concepção aristotélica organísmica será substituída pela ideia de uma natureza sem vida e mecânica, comparável em seu funcionamento ao mecanismo de um relógio. Nesta nova maneira de conceber a natureza, o objeto perde suas qualidades, pois se almeja buscar a possibilidade de uma descrição matemática da natureza. Assim, Galileu postulou certas restrições aos cientistas: eles deveriam se limitar ao estudo das propriedades essenciais dos corpos materiais, como forma, quantidade e movimento.

“Alguma coisa se perde quando entramos no mundo galilaico das descrições”, assevera Grün (2012, p. 30): ao mesmo tempo que o telescópio nos permite uma ampliação, ele nos impõe, por outro lado, uma redução. Ganhava-se algo em detrimento de algo que se perdia. Para o autor, a ampliação telescópica possibilitava a potencialização do poder de controlar e conhecer o objeto, ao mesmo tempo que

diminuía, ou praticamente anulava os contextos, as evidências e os modos de inserção do sujeito que conhece – e, por conseguinte, controla – o objeto. Galileu já não estava mais dentro da natureza, mas fora dela. Havia se tornado um “observador científico” para quem a natureza seria um mero objeto de investigação.

Ao lado de Galileu, Francis Bacon (1561-1626) foi um personagem importante na virada epistemológica que consolidava a visão mecanicista na ciência. Por meio da lógica indutiva⁹, Bacon proporcionou um grande avanço ao método científico experimental. À filosofia baconiana era cara a ideia do empirismo: através da experiência imediata registrar fielmente aquilo que pode ser visto, observado, ouvido, sentido, etc. A ciência, assim, cresceria continuamente “para a frente e para o alto, conforme o fundo de dados de observação aumenta” (CHALMERS, 1993, p. 27). A coleta de dados extensiva proporcionaria um agregado de informações singulares que serviriam de fundamento para formulação de afirmações universais, levando-nos do particular para o todo.

Cientes de que o que nos separa do saber aristotélico e medieval – que, até então, ainda era dominante – não “é apenas nem tanto uma melhor observação dos fatos como sobretudo uma nova visão do mundo e da vida” (SANTOS, 2010, p. 12), a ciência moderna desconfia sistematicamente das evidências da nossa experiência imediata, pois elas seriam ilusórias. A observação e a experimentação se assentam sobre ideias claras e simples a partir das quais é possível atingir um conhecimento profundo e rigoroso da natureza: as ideias matemáticas. A matemática se torna não somente uma importante ferramenta de análise para a ciência moderna, mas também a base lógica da investigação científica.

Para Santos (2010), o lugar central da matemática na ciência moderna impõe duas consequências principais. A primeira delas, a concepção de que conhecer significa quantificar. Quanto maior o rigor das medições, maior o rigor do conhecimento científico. As qualidades intrínsecas do objeto passam a ser traduzidas em atributos quantificáveis; o que não é quantificável, não é relevante. A segunda consequência é que o método científico assenta na redução da complexidade: “O mundo é complicado e a mente humana não pode compreender completamente.

⁹ A lógica indutiva preconizava que a ciência é baseada na experiência e na observação. A partir delas seria possível extrair informações que poderiam, desde que determinadas condições fossem satisfeitas, ser generalizadas a partir de uma lista de proposições para uma lei universal (CHALMERS, 1993).

Conhecer significa dividir e classificar para depois poder determinar as relações sistemáticas entre o que se separou” (SANTOS, 2010, p. 15).

A ideia de conferir uma nova unidade ao mundo cognoscível, agora em múltiplos pedaços, encontra sua representação maior em René Descartes (1596-1650). Descartes baseava sua visão de natureza na divisão fundamental entre dois domínios independentes e separados: o da mente – o eu pensante, a *res cogitans* – e o da matéria – a *res extensa* – e concebia o universo material como uma máquina, assim como os organismos vivos, que poderiam, em princípio, ser compreendidos completamente quando analisados em função de suas partes menores (CAPRA e LUISI, 2014).

Essa distinção entre o sujeito e o objeto legitimaria a base dos procedimentos metodológicos aplicados às Ciências da Natureza. Até hoje, grande parte das pesquisas realizadas ancoram-se no procedimento “objetificante” decorrente da lógica interna do dualismo cartesiano. Na base de uma polaridade entre a *res cogitans* e a *res extensa*, as ciências naturais concentraram sua atenção e interesse na segunda. Hoje, grande parte das pesquisas realizadas nas universidades são ainda sustentadas pela “objetificação”, presente na lógica interna do dualismo cartesiano. Três séculos após o estabelecimento dessa lógica, Heisenberg diria que ela penetrou tão profundamente na mente humana que “levará muito tempo para que seja substituída por uma atitude realmente diferente frente ao problema da realidade” (1959, p. 61-62).

A posição à qual nos conduziu a partição cartesiana com respeito à *res extensa* é aquela na qual o mundo, as coisas materiais, existem, são reais. Todo cientista que realiza um trabalho de investigação está buscando algo que seja objetivamente verdadeiro. Seus juízos, crenças, valores são passíveis de verificação. Especialmente na Física, o fato de poder explicar a natureza mediante leis matemáticas simples é um indicativo de que encontramos “uma imagem autêntica da realidade e não algo inventado por nós mesmos” (HEISENBERG, 1959, p. 62).

Em seu célebre *Discurso do Método*, Descartes estabelece alguns princípios que, quando seguidos, permitiriam que a ciência alcançasse as leis invariantes. Entre eles está o de que os fenômenos podem ser decompostos em partes, que quando estudadas separadamente, revelariam a estrutura do todo. Com isso, o filósofo recomendava repartir cada uma das dificuldades analisadas em tantas parcelas quantas fossem possíveis e necessárias a fim de melhor solucioná-las (DESCARTES, 1999). Para que se estudasse esse conjunto de partes decomponíveis até o

estabelecimento de uma explicação completa, o método a seguir deveria priorizar os objetivos mais simples e mais fáceis de conhecer, para que, pouco a pouco, fossem conhecidos aqueles mais compostos e de maior grau de dificuldade, presumindo que existe uma ordem entre as partes, na qual uma precederia a outra naturalmente.

As ideias de Descartes tomam a forma de uma visão de mundo unificada, mas que permanecem apenas como ideias. O homem que realizou o sonho cartesiano e desenvolveu uma formulação matemática abrangente da visão mecanicista foi Isaac Newton (1642-1727). Com ele, a mecânica clássica assume o posto de visão hegemônica da realidade. A visão mecanicista da natureza relaciona-se fortemente com um determinismo rigoroso, com a “gigantesca máquina cósmica completamente causal e determinada” (CAPRA e LUISI, 2014, p. 54). Ao determinar as causas daquilo que já aconteceu e cujos efeitos também são definidos, o futuro de qualquer sistema poderia – em princípio – ser previsto com absoluta certeza para um determinado instante se seu estado fosse conhecido em todos os seus detalhes.

Newton estabelece em seus *Principia* uma série de definições e axiomas que se inter-relacionam constituindo uma espécie de “sistema fechado” (HEISENBERG, 1959). Para o autor, cada conceito pode ser representado mediante um símbolo matemático e as relações entre os diferentes conceitos, através de equações expressas igualmente por meio de símbolos. A ideia newtoniana reafirma que a imagem de um sistema matemático de explicação é a garantia de que não haja contradições. Esse conjunto de conceitos e axiomas expressos em equações matemáticas é considerado como “uma descrição da estrutura eterna da natureza, com independência de um determinado espaço ou de um determinado tempo” (HEISENBERG, 1959, p. 73).

Newton concebe a relação entre os conceitos do sistema como algo tão fino que, no geral, a alteração em um dos conceitos apenas seria suficiente para mudar todo o conjunto. Isso foi um dos motivos pelos quais o sistema newtoniano foi considerado como definitivo, legando aos cientistas a tarefa de estender a mecânica aos mais amplos campos de investigação. A ideia de mundo como um complexo mecânico, cujas operações podem ser determinadas por meio de leis físicas e matemáticas torna-se de tal modo poderosa que se transformaria na grande hipótese universal da ciência moderna (SANTOS, 2010).

Assim, a contribuição newtoniana juntamente com as ideias de Descartes, Galileu e Bacon, serviram de base para o estabelecimento das condições

metodológicas e epistemológicas sobre as quais se ancoraria o paradigma reducionista. A ideia do reducionismo, como vimos brevemente, tem uma longa história na filosofia da ciência e tornou-se o cerne da ciência moderna (TREWAVAS, 2006) e até hoje continua sendo uma grande influência nas investigações realizadas em diversas áreas da ciência, especialmente nas ciências naturais.

Quando dizemos que o paradigma estabilizado nas Ciências da Natureza é o de cunho reducionista não julgamos isso como necessariamente um problema. Considerando o cenário trágico do século XVII, de instabilidades políticas, de revoluções, de crises, no qual protestantes e católicos se digladiavam em nome de dogmas e de certezas religiosas, Descartes vai em busca de um outro tipo de certeza; uma certeza que todos os humanos pudessem compartilhar, independentemente de sua religião (PRIGOGINE, 2011). Isso serviu como ponto de partida para a defesa de uma ciência que fosse fundada na formalização matemática e na lógica, como meio de encontrar um caminho garantido para a certeza científica. O método decorrente do pensamento reducionista teve, inegavelmente, o enorme mérito de refutar grande parte do pensamento mágico que caracterizara os séculos anteriores, fornecendo uma explicação natural dos fenômenos físicos e eliminando, dessa forma, grande parte da confiança no sobrenatural que antes era aceita por quase todo mundo (MAYR, 2008).

O PROGRAMA REDUCIONISTA

Para Martinez (2011), o reducionismo pode ser entendido como uma tese metafísica, no sentido de aplicação do pressuposto que todos os fenômenos são determinados por leis físicas, ou seja, todos os fatos dos quais a ciência se ocupa são de um mesmo tipo ou podem ser desmembrados em fatos do mesmo tipo. Desde Descartes, contudo, a ideia do reducionismo confunde-se com a ideia mecanicista de que os diferentes sistemas do mundo são mecanismos-máquinas que diferem apenas em sua complexidade. Nessa perspectiva, os fenômenos são resultado de processos de interação entre esses mecanismos (MARTINEZ, 2011). Isso retoma a ideia de que o todo pode ser conhecido conhecendo-se as características e o funcionamento de suas partes.

A fim de evitar a utilização e compreensão do termo reducionismo de maneira simplificada e pouco precisa, Wright e colaboradores (1992) propõem uma tipologia de perspectivas explanatórias considerando o contexto das relações entre níveis da realidade ou da explicação, de modo a delimitar-se claramente a natureza dos debates a seu respeito. Nesta tipologia, são propostas quatro perspectivas explanatórias: atomismo, reducionismo, holismo e antirreducionismo. Tal classificação baseia-se na relevância explanatória atribuída às propriedades e relações de todo e parte em cada uma delas, avaliando-se (i) se elas consideram ou não as propriedades e relações entre ‘totalidades’ como irreduzivelmente explanatórias e (ii) se elas consideram ou não as relações entre os indivíduos (ou ‘partes’) como explanatórias (EL-HANI, 2000). Importa-nos, neste momento, discutir o atomismo e o reducionismo, visto que ambos desconsideram as explicações no nível das propriedades e relações entre totalidades. As duas outras posições explanatórias serão discutidas com detalhes posteriormente¹⁰.

A primeira posição explanatória proposta por Wright e colaboradores (1992), o atomismo, considera que as relações entre partes e as propriedades relacionais¹¹ são destituídas de valor explanatório. Essa posição sustenta a relevância “apenas das propriedades intrínsecas às unidades mais fundamentais, negando qualquer função explanatória às propriedades relacionais” (EL-HANI e PEREIRA, 1999, p.75). Isso, porém, não significa que os atomistas ignorem as relações e interações entre unidades, mas apenas sustentam que as propriedades relacionais são, em última análise, redutíveis a propriedades inerentes a cada uma das partes que se relacionam. Wright e colaboradores (1992) afirmam que o atomismo provavelmente não tenha, ao menos em sua forma pura, defensores na atualidade. Contudo, ele se mostra importante sobretudo pelo fato de ser frequentemente confundido com a segunda posição explanatória, o reducionismo.

O reducionismo preconiza que, para se explicar toda e qualquer propriedade de um sistema complexo, deve-se operar uma redução ao nível das propriedades das partes e das suas relações. Ao reconhecer o poder explanatório das propriedades relacionais entre as partes, o reducionismo diferencia-se significativamente do atomismo. Uma vez analisadas as propriedades e relações entre as partes, o objetivo

¹⁰ Ainda neste capítulo, seção 2.3.

¹¹ Propriedade de uma única parte – ou de um único objeto, mas dependente de relações.

último da investigação aqui consiste em reduzir as explicações a níveis de análise cada vez mais microscópicos (EL-HANI, 2000). Apenas explicações incluindo partículas elementares e as suas relações seriam admitidas pela ciência. Não se considera suficiente, por conseguinte, que a investigação dos micro mecanismos seja associada com as descrições no nível macro; as macro explicações devem ser substituídas por micro explicações. Aos olhos de um reducionista,

[...] as propriedades e regularidades que aparecem, em sistemas complexos, como sociedades, mentes, organismos, nada mais seriam, dada a prioridade ontológica das partes sobre as totalidades, que epifenômenos das propriedades de seus componentes (EL-HANI e PEREIRA, 1999, p. 76).

Destarte, no programa reducionista, o projeto da ciência é concebido como a redução, em princípio, de todos os fenômenos às operações de entidades físicas. Isso significa que qualquer sistema, por mais complexo que seja, é passível de explicações de todas as suas propriedades redutíveis àquelas descritas na física fundamental (EL-HANI e PEREIRA, 1999). Com isso, todo e qualquer esforço explanatório deve caracterizar completamente os fenômenos de nível “superior”, complexo, sistêmico, através de explicações nos termos de nível “inferior”, microscópico, sistematizadas a partir de teorias físicas.

Wright e colaboradores (1992) advertem-nos, no entanto, que comumente se admite que o reducionismo implica na rejeição da premissa holista de que “o todo é mais que a soma das suas partes”, o que não é verdade. Tal equívoco relaciona-se a uma confusão entre o atomismo e o reducionismo. O atomista inequivocamente assume o todo como nada mais que a coleção de partes, enquanto que o reducionismo aceita a relevância explanatória das propriedades relacionais entre as partes, aceitando, portanto, tal premissa. Aqui, os autores alertam para a necessária compreensão do significado de “soma” e de “partes”. Por exemplo; uma das maneiras de interpretar a premissa holista é a seguinte: as “partes” de uma sociedade são indivíduos com propriedades atomísticas (propriedades que podem ser definidas por cada indivíduo independentemente de todos os outros indivíduos). O todo, então, é maior do que a “soma” dessas partes no sentido de que as propriedades do todo emergem do padrão sistêmico relacional da *interação* entre esses indivíduos – as relações que os ligam – e não simplesmente da agregação de suas propriedades atomísticas (WRIGHT *et al.*, 1992). Nesse caso, quando as propriedades relacionais são incluídas na descrição das partes, o todo será, de fato, maior que uma simples

soma, uma vez que suas propriedades não resultam da combinação das propriedades não-relacionais das partes, mas sobretudo, da interação entre elas.

O PÊNDULO OSCILA: A EMERGÊNCIA DO HOLISMO

A redução do todo à análise microscópica de suas partes revelou-se insuficiente para compreender plenamente o fenômeno da vida. O estudo das partes dos organismos vivos não era capaz de revelar a sua integralidade. Haveria diferentes níveis de complexidade com diferentes tipos de explicações operando em cada nível. Um dos domínios mais afetados era a embriologia, ou seja, a Biologia, o que impulsionou os embriologistas a buscarem alternativas para os problemas que a posição científica moderna lhes trazia (OLIVEIRA, 2000). De acordo com a autora, tal movimento teve como precursor Paul Weiss, cujos estudos em embriologia teriam influenciado epistemólogos contemporâneos, como Ilya Prigogine.

Logo, era necessário voltarmos a atenção não para as partes, mas sim para o todo. Um princípio de explicação ao nível da totalidade emerge em oposição ao paradigma reducionista. O holismo preconiza que o todo é mais do que a somas das partes. Assim,

[...] as concepções holísticas surgiram na epistemologia deste século [XX] defendendo uma perspectiva *top-down*, ou seja: de que a compreensão dos fenômenos deveria processar-se a partir da compreensão do funcionamento – como um todo – do sistema observado. Deste modo, a causalidade fenomenal descritiva teria sempre que remeter para a unidade sistemática (OLIVEIRA, 2000, p. 287).

A unidade básica passa a ser a totalidade. Para se compreender a realidade “é preciso buscar suas características globais, que prevalecem sobre qualquer referência às características das partes que compõe a totalidade em questão” (EL-HANI, 2000, p. 7). Para Wright *et al.* (1992), essa visão mais radical de holismo, na qual a única coisa genuína seria o todo, a integralidade, sendo as partes apenas meros artefatos, mesmo quando constituída de maneira relacional, dificilmente encontra hoje defensores explícitos.

Para Wright *et al.* (1992), uma tipologia radicalmente holista representa um contraste absoluto em relação ao reducionismo. As propriedades das partes e as relações entre elas não possuiriam qualquer valor explanatório, porque nada mais

seriam do que epifenômenos. Assim como no atomismo, no programa holista radical as relações entre as partes são destituídas de valor explanatório. Não se trata simplesmente de afirmar aqui que “o todo é mais que a soma das partes”. A única causa genuína é o todo, sendo as partes, mesmo quando tomadas de modo relacional, meros artefatos.

Para El-Hani e Pereira (1999, p. 75), a principal crítica ao holismo consiste “no reconhecimento de que a interconexão de partes e do todo é de tal natureza que ambos se implicam mutuamente”. Logicamente, partes somente podem ser concebidas partes quando existe a referência de um todo constituído por elas: partes e todo só podem existir e ter qualidade se considerados de modo relacional.

Morin (2014b) nos adverte que uma concepção de holismo nesses termos também consiste em uma redução, por considerar o mesmo princípio simplificador, a ideia simplificada do todo e a redução do todo. Essa redução do todo se dá na medida em que abrange uma visão parcial e unidimensional ao considerar somente a totalidade global, sistêmica, visto que epistemologicamente considera o conhecimento das partes desnecessário e insuficiente para a compreensão do todo, rejeitando qualquer forma de redução (EL-HANI, 2000).

Entre meados de 1920 e 1940, a partir de Paul Weiss, o conceito holismo deixa de ser radical e amplia-se, passando a significar “*bottom-up* e *top-down* simultaneamente” (OLIVEIRA, 2000, p. 288). Isso implica que os sistemas são hierarquizados, com níveis de organização que se encaixam e se influenciam mutuamente, sendo “a unidade de um sistema pensada pela circularidade causal entre níveis” (OLIVEIRA, 2000, p. 288).

À vista disso, não se trata mais de desprezar a relevância das explicações no nível mais microscópico, abandonando as propriedades e relações entre as partes e o todo para priorizar apenas a totalidade. Significa superar a abordagem meramente analítica, atomística, simplificadora do reducionismo para olhar além da soma das partes: para as suas relações, para as suas interações e para as propriedades que não estão presentes isoladamente nas partes, mas que emergem a partir dessas relações e interações e para a interdependência partes-todo.

Na tipologia de Wright *et al.* (1992), o reconhecimento da relevância das explicações no nível microscópico para a compreensão de macro fenômenos caracteriza uma quarta proposição, o antirreducionismo. Esta proposição também está, ao mesmo tempo, comprometida com a irredutibilidade das macro teorias, (por

exemplo, teorias biológicas) ao nível de micro explicações (explicações moleculares, por exemplo) (EL-HANI, 2000). Destarte, o programa antirreducionista considera, a um só tempo, a relevância explanatória das propriedades das partes e de suas relações e do todo. Admite-se assim que certa redução das explicações ao nível dos micro mecanismos é necessária para a compreensão no âmbito dos macro fenômenos. Porém, não se admite que as teorias de nível superior sejam eliminadas uma vez alcançado o conhecimento das escalas inferiores.

Para El-Hani e Pereira (1999, p. 77-78), considerando o antirreducionismo,

[...] o ponto chave do problema para explicação em sistemas complexos, não reside na necessidade de se eliminar o nível microscópico de explicação, mas na compreensão de como as propriedades de e relações entre partes e todos podem ser entrelaçadas em uma única explicação. Assumir a relevância explanatória dos micro mecanismos não é equivalente a uma aceitação do programa reducionista, pois é possível sustentar-se, sem qualquer contradição, que as propriedades de sistemas causais complexos são, ao mesmo tempo, fundadas em e irreduzíveis às propriedades de seus componentes.

Ao contrário do programa reducionista, os antirreducionistas refutam a crença de que as explicações científicas devem conduzir a conhecimentos nos termos de teorias físicas, de partículas elementares, de menores unidades constituintes da matéria. Não há, no programa antirreducionista, sentido algum em se conceber a ciência como uma tentativa de redução dos objetos, fenômenos, enfim, da realidade, meramente a componentes materiais descritos pela física fundamental (EL-HANI e PEREIRA, 1999), dado que nem tudo pode ser generalizável à física, suas leis, teorias, predições e determinismos.

A OPÇÃO PELO REDUCIONISMO OU PELO HOLISMO É REALMENTE NECESSÁRIA?

Como vimos, diferentes posições epistemológicas se apresentam como possibilidades de explicação na ciência. Nos extremos, uma posição reducionista radical é assumida pelo atomismo, enquanto que no outro extremo encontramos o holismo radical, se considerarmos a tipologia de Wright e colaboradores (1992) apresentada acima.

Diferentes maneiras de se conceber o papel das partes e do todo nas explicações da ciência acabam também por delinear diferentes maneiras de se conceber a própria ciência. Discutir a relevância dos pressupostos do reducionismo, de um lado, e do holismo, de outro, nos leva a considerar que talvez seja mais apropriada uma maneira sistêmica de se conceber a própria ciência.

[...] em vez do determinismo, a imprevisibilidade; em vez do mecanicismo, a interpretação, a espontaneidade e a auto-organização; em vez da reversibilidade, a irreversibilidade e a evolução; em vez da ordem, a desordem; em vez da necessidade, a criatividade e o acidente (SANTOS, 2010, p.28).

Daí decorre uma mudança de perspectiva de estruturas para processos. Mapear as relações, as interações, as interdependências não demanda uma abordagem quantitativa, mas sim, qualitativa (CAPRA e LUISI, 2014). Se o todo é mais que a mera soma das partes, isso significa que existe uma teia de relações interligadas que constituem a realidade. Por conta disso, o conhecimento construído não pode mais ser absoluto, determinista, definitivo; ele passa a ser aproximado, incompleto, provisório.

Situamo-nos hoje em um ponto crucial da aventura da ciência e do conhecimento. Reconhecemos o quanto esse se desenvolveu através da parcelização do objeto, como preconiza a ideia reducionista: isso está bem representado nas crescentes especializações da ciência, incluindo a Biologia, que avançou significativamente permitindo que inúmeros progressos científicos fossem adquiridos na biologia molecular, na microbiologia, na bioquímica, por exemplo. Por outro lado, embora os biólogos conheçam a estrutura precisa de alguns genes, eles sabem muito pouco sobre as maneiras pelas quais os genes se comunicam e cooperam para o desenvolvimento de um organismo (CAPRA e LUISI, 2014). Ou seja, não podemos fazer uma opção radical pelo reducionismo ou por uma visão mais holística de ciência.

Para Prigogine (2011, p. 14-15),

[...] estamos apenas no começo da aventura. Assistimos ao surgimento de uma ciência que não mais se limita a situações simplificadas, idealizadas, mas nos põe diante da complexidade do mundo real, uma ciência que permite que se viva a criatividade humana como a expressão singular de um traço fundamental comum a todos os níveis da natureza.

Isso nos leva a questionar o papel de cada uma das posições metodológicas sobre explicação na ciência. De um lado, o reducionismo. De outro, o holismo. Entre eles, a necessidade de se pensar até que ponto cada um influencia e constitui nosso fazer científico. Em determinados estudos, uma opção epistemológica e metodológica

por um ou outro pode se tornar urgente. Em outros, contudo, é evidente que ambos precisam ser considerados.

A Biologia, por exemplo, claramente se distingue das demais no seu objeto de estudo, na sua história, nos seus métodos e na sua filosofia. Quando tentamos explicar o que é, enfim, a Biologia, vemos que ela, na verdade, consiste em dois campos bem diferentes: a biologia mecanicista (funcional) e a biologia histórica (MAYR, 2005). De acordo com o autor, a primeira ocupa-se da fisiologia de todos os organismos vivos, especialmente dos processos em níveis celulares e moleculares. Já a biologia histórica debruça-se sobre os aspectos da evolução dos organismos: como a extinção dos dinossauros, por exemplo, a origem dos seres humanos e das demais espécies, a origem das novidades evolutivas e a explicação da diversidade orgânica (MAYR, 2005).

Destarte, a Biologia rejeita ou demanda uma opção pelo reducionismo ou pelo holismo? É inegável a importância da herança fisicalista do reducionismo em várias áreas da biologia funcional, por exemplo. Por outro lado, reconhecemos que a Biologia também avançou ao considerar a complexidade dos sistemas vivos, ricos em propriedades emergentes, nas quais novos grupos de propriedades podem surgir através da integração.

Destacamos também o desejo que Descartes (1999, p. 37) nos confessa:

[...] apreciaria muito mostrar, neste discurso, quais os caminhos que segui e representar nele a minha vida como num quadro, para que cada um possa julgá-la e que, informado pelo comentário geral das opiniões emitidas a respeito dela, seja este uma nova forma de me instruir, que acrescentarei àquelas que tenho o hábito de me utilizar.
Portanto, meu propósito não é ensinar aqui o método que cada qual deve seguir para bem conduzir sua razão, mas somente mostrar de que modo me esforcei para conduzir a minha.

Na época em que nos escreveu, Descartes não percebeu que tal preocupação contradizia sua visão que instituíra uma separação paradigmática entre *res cogitans* e *res extensa*. Dela resultou a trágica cisão entre um mundo material, passível de observações, experimentações, manipulações, que culminaria em uma ciência e uma técnica quantitativas e manipuladoras e um “mundo de sujeitos que se questionam a respeito de problemas de existência, de sentido da vida, de comunicação, de consciência, de destino” (MORIN, 2014a, p. 52).

Tal afirmação, porém, hoje nos revela o caráter autobiográfico da ciência. Levamos em conta que as nossas trajetórias de vida pessoais e coletivas (enquanto comunidades científicas) e os valores, os juízos, as crenças imprimem suas

influências no nosso fazer científico. Santos (2010, p. 53) adverte-nos que sem isso, “[...] nossas investigações laboratoriais ou de arquivo, os nossos cálculos ou os nossos trabalhos de campo constituiriam um emaranhado de diligências absurdas sem fio nem pavio”.

Ora, se outrora o paradigma reducionista privilegiava a ordem, a estabilidade, a disjunção sujeito/objeto, “em todos os níveis de observação reconhecemos agora o papel primordial das flutuações e da instabilidade” (PRIGOGINE, 2011, p. 12), bem como o caráter humano, criativo e, muitas vezes, subjetivo da ciência. No desenrolar de sua história, as limitações do reducionismo foram sendo elencadas, e novas posições metodológicas foram apresentadas para dar conta de uma realidade que, nem sempre, poderia ser conhecida através da decomposição em partes que, quando conhecidas, revelariam sua totalidade. Isto posto, recorreremos a alguns episódios da história da Biologia para ilustrar as aplicações do paradigma reducionista na ciência, bem como as limitações que depois vieram a se tornar visíveis, evidenciando a necessidade de se pensar para além da redução.

A Biologia ao longo dos tempos

O termo “biologia” é consideravelmente recente: surge no século XIX (MAYR, 1998). Até o seu reconhecimento como ciência, no entanto, diversos trabalhos em anatomia, fisiologia, botânica já eram realizados desde o século XVII. Nesse período, o estudo da vida era considerado uma parte dentro dos domínios da medicina. Já o fenômeno “vida” surge como um problema de investigação para a ciência no final do século XVIII. Anteriormente, o conceito científico de “vida” não existia, existiam apenas os seres vivos:

Com efeito, até o fim do século XVIII, a vida não existe. Apenas existem seres vivos. Estes formam uma, ou antes, várias classes na série de todas as coisas do mundo: e se se pode falar da vida, é somente como de um caráter — no sentido taxinômico da palavra — na universal distribuição dos seres. Tem-se o hábito de repartir as coisas da natureza em três classes: os minerais, aos quais se reconhece o crescimento, mas sem movimento nem sensibilidade; os vegetais, que podem crescer e que são suscetíveis de sensação; os animais, que se deslocam espontaneamente (FOUCAULT, 1999, p. 222).

Logo, não se podia falar em um estudo da vida propriamente dito, o que justificava que tais questões fossem abordadas no âmbito da medicina e da história

natural, ocupando-se esta basicamente de problemas de classificação de plantas e animais (EMMECHE e EL-HANI, 2000).

Desde as discussões pioneiras sobre questões como porque alguns objetos da natureza são inanimados e outros são vivos, quais seriam as características especiais dos organismos vivos, observamos que uma das interpretações desses problemas ancorava-se na base científica da Física, especialmente decorrente da filosofia de Descartes e Newton, na qual os seres vivos poderiam ser comparados a máquinas, cujos movimentos e propriedades poderiam ser, então, explicados pelas leis da mecânica, da física e da química (MAYR, 1998). O reducionismo fisicalista comporta a ideia de um universo mecânico, criado por um designer externo, que combina e organiza as partes de acordo com um projeto que não é inerente ao próprio sistema (MAZZOCCHI, 2011).

É sabido que, devido ao seu reconhecimento tardio, as reflexões acerca da filosofia da Biologia surgiram inicialmente a partir de uma base científica oriunda da Física, influenciando a visão ontológica e sua epistemologia. É em meados do século XX que emerge uma subárea da filosofia da ciência interessada em dedicar-se especificamente a uma reflexão sobre a Biologia (ABRANTES, 2011), sendo a obra de David Hull, *The Philosophy of Biological Science*, de 1974, considerada como um primeiro texto introdutório abrangente em uma área que ainda está se delimitando. Com isso, desde o seu surgimento enquanto ciência legítima, discussões acerca da sua constituição e autonomia têm sido uma das questões centrais da história da Biologia (SMOCOVITIS, 1992).

A ideia de que o passado pode nos ser útil para compreender o presente e para pensar e conjecturar o futuro é muito atraente quando pensamos na ciência, incluindo a Biologia. No desenrolar da história, inicialmente, a filosofia da ciência ocupou-se de problemas

[...] sobretudo, de ordem *epistemológica* e *metodológica*: que tipo de conhecimento é produzido no âmbito das ciências e quais as suas credenciais? Que métodos são empregados pelos cientistas e como podem gerar crenças (aproximadamente) verdadeiras a respeito do mundo, ou, pelo menos, mostrarem-se eficazes em intervir nele? (ABRANTES, 2011, p. 13).

Com isso, poderíamos questionar o que seria comum a todas as ciências? O que fez com que as diferentes áreas do conhecimento divergissem em seus objetos de estudos, o que impulsionou que novas posições metodológicas e epistemológicas fossem pensadas para operacionalizar a pesquisa nessas áreas? Assim,

paulatinamente, a filosofia mais geral da ciência foi se desdobrando em filosofias específicas: filosofia da Física, filosofia da Química, filosofia da Biologia, etc.

Entretanto, existe um problema filosófico sobre o qual as diferentes gerações de filósofos se debruçaram, o problema da redução. Com a Biologia não foi diferente... Inegavelmente, a visão reducionista imprimiu fortes influências sobre a Biologia e seu progresso. No século XVII, William Harvey (1578-1657) revolucionou a ciência médica de sua época ao postular explicações para a circulação do sangue nas quais comparava o sistema circulatório a um sistema de dutos, sendo o coração semelhante a uma bomba que faria o sangue circular. Visto dessa perspectiva, o funcionamento de um organismo vivo consistia em um mecanismo complexo feito de partes que, em última instância, obedecem a leis mecânicas e sobre essa base iniciava-se a fisiologia experimental (MARTINEZ, 2011).

Já durante a segunda metade do século XIX, o aperfeiçoamento do microscópio levou a muitos notáveis avanços na Biologia. Foi nesse período que os biólogos formularam a teoria celular, os princípios da embriologia moderna, promoveram a ascensão da microbiologia e descobriram as leis da hereditariedade. Essas novas descobertas arraigaram firmemente a Biologia na Física e na Química, e os cientistas renovaram seus esforços na busca de explicações físico-químicas para a vida (CAPRA e LUISI, 2014).

Também no século XIX, a década de 50 foi marcada pelo triunfo espetacular da genética e pela elucidação da estrutura física do DNA e do código genético. As contribuições científicas da genética permitiram aos biólogos a descoberta de que as características de todos os organismos vivos estavam codificadas em seu genoma, na mesma substância química e através de um mesmo código genético.

O triunfo da biologia molecular resultou na crença difundida amplamente de que as funções biológicas poderiam ser explicadas com base em estruturas e mecanismos moleculares (CAPRA e LUISI, 2014). A vida passou a ser interpretada como um processo molecular regulado pela informação genética (MAZZOCCHI, 2011). Tal abordagem reducionista resultou em uma visão da biologia centrada na “molecularização”: todas as explicações, ao final, envolveriam a identificação das moléculas mais relevantes e das regras de interação de umas com as outras.

A partir disso, Martinez (2011) assevera que a melhor maneira de tentar superar o reducionismo é justamente dar-se conta que não há razão para rejeitá-lo; na verdade, os diferentes sentidos do reducionismo podem ser vistos como estratégias

que nos permitem identificar componentes estáveis de sistemas complexos, os quais posteriormente, precisamos levar em consideração se quisermos entender fenômenos complexos. Nesse sentido, elencar aspectos históricos da construção e consolidação das diferentes teorias científicas através dos séculos pode ser determinante na compreensão de tais fenômenos e do caráter dinâmico da ciência.

Na história da Biologia (e da Ciência) surge Darwin!

A ideia de que os processos no nível molecular poderiam ser explicados exhaustivamente por mecanismos físico-químicos, mas que esses mecanismos desempenhavam um papel cada vez menor, se não desprezível, em níveis de integração mais altos começou a se difundir na biologia. Esse modo de pensar, no qual esses mecanismos são substituídos pelas características emergentes dos sistemas organizados é comumente conhecido como organicismo (MAYR, 2008). Para Hull (1975, p. 41):

É certamente verdade que nada existe de mais óbvio no estudo da natureza do que a existência de complexidade e níveis de organização. Em nenhuma parte, os níveis de organização se encontram mais estratificados e a complexidade é maior do que no mundo orgânico.

Pode parecer quase elementar que a Biologia lide com organismos, sua ecologia, comportamento, organização, etc. e que, por esse motivo, as ciências biológicas deveriam ser, necessariamente, centradas no organismo (EL-HANI, 2002). No entanto, a maciça molecularização da Biologia, que resultou em descobertas emblemáticas como a elucidação da estrutura helicoidal do DNA, na determinação do código genético, por exemplo, deslocaram a ênfase da Biologia do organismo para destacar os mecanismos biológicos moleculares.

Mayr (1998) considera tanto o termo *organicismo*, proposto por Ritter (1919)¹² quanto o termo *holismo*, proposto por Smuts (1926)¹³ convenientes, simpatizando com a combinação de ambos em uma abordagem holístico-organísmica. O autor destaca que as proposições holísticas mais recentes são estritamente materialistas,

¹² RITTER, William Emerson. **The unity of the organism, or, the organismal conception of life**, vols. 1-2. Boston: Gorham Press, 1919.

¹³ SMUTS, Jan Christiaan. **Holism and evolution**. Londres: Macmillan, 1926.

acentuando que “as unidades em níveis hierárquicos superiores são mais do que a soma de suas partes e que, por isso, a dissecação das partes deixa sempre um resíduo não solucionado” (MAYR, 1998, p. 86). Assim, o aspecto mais importante do holismo seria o fato de dar ênfase ao parentesco, às relações.

Na Biologia, o estudo da vida abrange todas as suas manifestações, desde as características e diversidade dos seres vivos, os aspectos bioquímicos e moleculares do funcionamento celular, a fisiologia e a anatomia, por exemplo. Tais saberes constituem uma complexa rede, muitas vezes difícil de ser assimilada e compreendida nas suas relações e interações. A teoria da evolução “é uma forma de articular essa gama de informações, oferecendo unidade e continuidade a toda diversidade biológica” (MEGLHIORATTI, 2004, p. 17).

Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), naturalista francês, foi um dos primeiros a propor um mecanismo consistente para explicar o processo evolutivo. Ele afirmava que

[...] a matéria inanimada produz continuamente, por geração espontânea, formas de vida muito simples que progredem em direção a uma maior complexidade e perfeição, graças a uma tendência natural da vida de tornar-se mais complexa (MEYER e EL-HANI, 2000, p. 158).

Para Lamarck, haveria o que chamamos, hoje, de influências abióticas que se oporiam à tendência natural de aumentar a complexidade da vida. Apesar de ser conhecido e apresentado nos livros didáticos como defensor da ideia de uso e desuso dos órgãos e estruturas como condição para o seu desenvolvimento ou atrofia e pela herança dos caracteres adquiridos, tais ideias não eram o cerne de sua teoria, mas tinham um caráter secundário servindo como explicação para interromper a regularidade no aumento de complexidade nos seres vivos (MEYER e EL-HANI, 2000).

A história desse episódio que ilustra uma primeira tentativa consistente de explicar o mecanismo evolutivo constitui um exemplo do quanto a história da Biologia e da ciência não podem ser negligenciadas. Para Mayr (1998, p.27),

O historiador de Biologia deve esforçar-se por apresentar um relato melhor balanceado. Muitas teorias, hoje rejeitadas, como a hereditariedade dos caracteres adquiridos esposada por Lamarck, pareciam formalmente tão consistentes com os fatos que os autores não sofriam críticas por haverem adotado essas teorias dominantes, embora há tempo se tenham revelado erradas.

Apesar dos esforços de Lamarck e de vários outros filósofos e naturalistas em explicar como as espécies evoluíam e através de quais mecanismos as espécies teriam se originado, o conceito de organismos criados e essencialmente estáveis,

imutáveis continuava soberano até que Charles Darwin (1809-1882) o confrontasse. Darwin tinha plena consciência de que a mudança de uma espécie para outra era o problema mais fundamental da evolução e uma vez isso elucidado, o pensamento evolucionista poderia, finalmente, consolidar-se (MAYR, 1998).

Um dos aspectos mais fascinantes da sua obra é o modo como Darwin reuniu uma série de ideias e de observações em campo em uma teoria revolucionária, a teoria da seleção natural (MEYER e EL-HANI, 2000). Tal teoria postulava que os organismos são dotados de grande fertilidade, a ponto de suas populações tenderem a aumentar exponencialmente caso houvesse recursos disponíveis para sua sobrevivência. Como a população tende a crescer, são produzidos mais indivíduos do que a quantidade que pode ser suportada pelo ambiente, devendo ocorrer uma dura luta pela existência através da competição pelos recursos do meio.

Outro postulado importante, é a geração de variabilidade dentro das populações. Se observarmos, por exemplo, uma ninhada de gatos, logo perceberemos que os filhotes diferem entre si em relação a diferentes caracteres. Para Darwin, parte dessa variação poderia ser transmitida aos descendentes. Assim, a variabilidade dentro de uma população afetaria diretamente a chance de sobrevivência dos indivíduos na disputa pelos recursos limitados do ambiente.

Diante da limitação de recursos, sobrevivem aqueles seres com características que aumentam sua eficácia na exploração do ambiente no qual vivem. Se a característica responsável pelo aumento da chance de sobrevivência for herdável, ela será passada às novas gerações.

A produção de variação entre os indivíduos de uma população e a verdadeira seleção natural são partes inseparáveis de um processo único.

Na primeira fase, a variação é produzida por mutação, recombinação e efeitos ambientais, e na segunda fase os fenótipos variados são separados por seleção. Obviamente, durante a seleção sexual ocorre seleção real. A seleção natural é a força motriz da evolução orgânica e representa um processo largamente desconhecido na natureza inanimada (MAYR, 2005, p. 47).

De acordo com Heisenberg (1959), o único conceito que deve ser associado à Física e à Química para compreender a vida através da evolução é o conceito de história. O enorme período transcorrido desde a formação da Terra proporcionou à natureza a capacidade de ensaiar uma enorme variedade de estruturas de grupos de moléculas, entre as quais estavam aquelas que posteriormente adquiriram capacidade de duplicação e podendo, assim, multiplicar-se rapidamente. Associado a

isso, mudanças aleatórias nessas estruturas químicas produziram uma variedade ainda maior de moléculas, possibilitando diferentes combinações e reações.

As descobertas acerca da teoria da evolução de Darwin foram um marco importantíssimo na história da ciência, pois permitiram que a visão até então fisicalista da Biologia fosse questionada e que muitos conceitos básicos das ciências físicas aplicados à Biologia fossem contestados. Assim, o darwinismo tornou-se o alicerce de um novo paradigma para explicar a “vida” (MAYR, 2008), a ponto de Dobzhansky (1973) asseverar que à luz da evolução, a Biologia é, talvez, a ciência intelectualmente mais gratificante e inspiradora. Logo, a evolução assumiu um papel central e unificador na Biologia, organizando as diversas disciplinas que a compõe em torno de um eixo comum (MEYER e EL-HANI, 2000). Somente com a evolução, que desafiou a redução à física e à química por causa de seus componentes metafísicos, ao mesmo tempo que introduziu um agente de causa mecânica de mudança evolutiva, a Biologia pôde reivindicar sua autonomia enquanto ciência (SMOCOVITIS, 1992).

Um lugar ou vários lugares para a Biologia?

Começamos nosso texto evidenciando o quanto as explicações na ciência foram fortemente marcadas pela polarização entre reducionismo e holismo. Ao recorrermos à história da Biologia, parece-nos evidente que esse antagonismo não se faz necessário. Não saberíamos dar à Biologia uma identidade clara nesse sentido, visto que ela não encontra lugar numa posição explanatória essencialmente reducionista, tampouco encontra lugar no seu opositor, o holismo. Ao que tudo indica, a Biologia nos serve como exemplo para resgatar para mais além do reducionismo e do holismo, a noção de *unitas multiplex*, ou seja, de uma unidade complexa. Isso significa que sob o ângulo do todo, ela é uma ciência homogênea; se nos voltarmos para o ângulo dos constituintes, ela é diversa e heterogênea.

A primeira ideia da complexidade de um sistema é justamente a associação entre sua unidade, por um lado, e da sua diversidade ou multiplicidade, de outro, que à primeira vista se repelem e se excluem (MORIN, 2013). Nesse sentido, o autor considera que o sistema é uma unidade global – uma vez formado por constituintes diversas e inter-relacionadas – e também original, ao dispor de qualidades próprias e

irredutíveis. Mas, esse sistema precisa ser organizado, produzido. Organização não é o contrário de desorganização! Ela é “[...] o encadeamento de relações entre componentes ou indivíduos” (MORIN, 2013, p, 134) que produzem o próprio sistema. Através da organização os elementos diversos são ligados de maneira inter-relacional, tornando-se constituintes de um todo. “A organização, portanto: transforma, produz, religa, mantém” (MORIN, 2013, p, 134).

Logo, à unidade complexa organizada corresponde um *princípio sistêmico/organizacional*, que concebe o todo, as partes, as emergências e as imposições. À luz desse princípio, vemos a Biologia como um sistema de sistemas, como uma unidade múltipla que é formada por subsistemas: as diferentes áreas que a constituem – ecologia, fisiologia, genética, bioquímica. Subsistemas que não são estanques e intercomunicáveis! Pelo contrário, comunicam-se e produzem conhecimentos que sobrepõem a especificidade própria de cada área e constituem a natureza do conhecimento biológico como um todo.

A história da Biologia nos permite compreender a evolução como o eixo integrador dessa ciência. A teoria evolucionista tornou-se a "ciência central" da Biologia ao unir e relacionar práticas heterogêneas em uma ciência unificada e progressiva (SMOCOVITIS, 1992). Assim, reconhecemos que a evolução assume um papel essencial na organização da Biologia, contribuindo para o seu caráter de unidade, para a sua totalidade quanto ciência.

Para além disso, o resgate dos elementos da história da Biologia revela-se absolutamente importante para apresentá-la como uma ciência complexa, que rejeita a necessidade de uma opção radical pelo reducionismo ou por uma visão mais holística de ciência. O princípio sistêmico/organizacional refuta o pensamento simplificador que desintegra, mutila, reduz. É inegável a importância da herança fisicalista do reducionismo em várias áreas da biologia funcional, como anatomia, biotecnologia, genética, biologia molecular. No entanto, para que a ciência nessas áreas possa avançar, é preciso ir além do reducionismo, considerando a complexidade dos sistemas vivos, ricos em propriedades emergentes, nas quais novos grupos de propriedades sempre surgem em cada nível de integração (MAYR, 2005, p. 45).

Para Morin (2013), a emergência é uma característica própria ao todo. Ela corresponde a qualidades ou propriedades que apresentam um caráter de novidade em relação àquelas dos componentes considerados isolados ou dispostos de maneira

diferente em outro tipo de sistema. Não basta simplesmente considerarmos as pesquisas em ecologia, por exemplo, em conjunto com aquelas produzidas pela genética para termos um panorama da pesquisa em Biologia: o todo é mais que a soma das partes.

Olhar retrospectivamente a Biologia nos parece a chave para compreendermos sua constituição enquanto ciência legítima e, por conseguinte, para fomentar discussões acerca de sua epistemologia e sua filosofia. Reiteramos que, no decorrer de sua história, até que a teoria da evolução fosse formulada, a Biologia parecia ancorar-se fortemente na Física. Somente com a evolução, que desafiava a redução à Física e à Química devido aos seus componentes metafísicos e, ao mesmo tempo, introduzia um agente causal-mecânico para a mudança evolutiva, a Biologia pôde, enfim, reivindicar sua autonomia (SMOCOVITIS, 1992).

A nosso ver, a Biologia evidencia que, de toda parte, a ciência parece necessitar de um princípio de explicação mais rico e que supere o princípio de simplificação (separação/redução), que Morin (2014b) denomina de Princípio de Complexidade. O autor adverte que aqui também existe a necessidade de distinção, de análise, como o princípio precedente, mas além disso, o princípio de complexidade esforça-se por não sacrificar nem o todo à parte, nem a parte ao todo, mas por conceber a difícil problemática da organização em vias daquilo que dizia Pascal, “é impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, como é impossível conhecer o todo sem conhecer particularmente as partes” (MORIN, 2014b, p. 30). A biologia molecular, aparentemente, encontra lugar nas explicações ao nível inferior, mas a biologia evolutiva precisa superar tais explicações e buscar articulá-las com as explicações ao nível de macro fenômenos. Mas, quantas biologias existem? A unidade da ciência Biologia nos sugere que pode haver diferentes lugares para toda sorte de explicações, que incluem aquelas no nível microscópico de explicação associadas, interconectadas, dependentes, ligadas àquelas de nível macroscópico.

O reducionismo pautado pela explicação científica unia, através de leis e princípios da física, conhecimento completo e certeza: dadas todas as condições iniciais apropriadas, era possível garantir a previsibilidade do futuro e a possibilidade de reconstruir explicações passadas (PRIGOGINE, 2011). Com a biologia evolutiva, a história, o contexto, e, por conseguinte, certa instabilidade é incorporada, o que confere um novo sentido à significação das leis da natureza. A história até pode ser explicada com satisfatório rigor se as evidências forem adequadas, depois de uma

série de eventos decorridos, mas ela inclui muitas contingências (GOULD, 1994). Logo, agora, não mais leis fechadas e previsíveis, mas possibilidades são construídas.

Dos tempos do determinismo, do rigor matemático enquanto ferramenta de predição, de regularidades defendidos pela física clássica para os dias atuais, a situação mudou. “Em qualquer nível que seja, a Física e as outras ciências confirmam nossa experiência da temporalidade: vivemos num universo em evolução” (PRIGOGINE, 2011, p. 162-163).

A evolução biológica e a história da vida se dão em uma grande diversidade de escalas de tempo. Durante a maior parte da história dos organismos, as bactérias, ao que se sabe, permaneceram como únicas formas de vida durante um longo período e perduraram até hoje. Porém, foi após a grande explosão de diversidade do Cambriano¹⁴ que uma multidão de seres vivos surgiu e vivenciou evoluções singulares, muitas vezes em escalas de tempo muito curtas.

Durante a evolução, a seleção natural por si só não é plenamente suficiente para explicar a mudança evolutiva e o surgimento de espécies novas. Primeiro, porque muitas outras causas também foram importantes, como no nível molecular, por exemplo, onde pode haver a substituição de pares de bases de DNA, ocasionando uma mudança aleatória. Nos níveis superiores de organização, envolvendo populações ou comunidades, extinções em massa dizimaram grupos de indivíduos e de espécies importantes da biota, por exemplo, por motivos que em nada se relacionam com uma luta por adaptação das espécies (GOULD, 1994). Isso ilustra o quanto as redes e cadeias de eventos históricos da vida no planeta são complexos, impregnadas por elementos caóticos e aleatórios, o que faz com que a chance de que episódios idênticos se repitam seja desprezível; logo, os modelos padrão de previsão, replicação simplesmente não podem ser aplicados.

Na Biologia, a sucessão de eventos históricos que a vida experimentou desde o seu surgimento e evolução é totalmente contrária aos modelos deterministas habituais da ciência ocidental (GOULD, 1994). Ao mesmo tempo, o paradigma de simplificação do reducionismo, caracterizado pelas generalizações, pelas descrições

¹⁴ A explosão Cambriana, há cerca de 530 milhões de anos, corresponde a um período no qual ocorreu uma grande diversificação das espécies de animais. Em um intervalo estimado em aproximadamente 10 milhões de anos, presume-se que a maioria dos formatos básicos de corpo que vemos hoje em grupos modernos evoluiu a partir de animais marinhos.

a níveis inferiores possibilitou que se concebesse a natureza físico-química de toda organização viva.

A complexidade, por fim, manifesta-se justamente no fato de que o todo possui qualidades e propriedades que nem sempre se encontram no nível das partes, quando consideradas isoladamente. Ao mesmo tempo, inversamente, no fato de que as partes têm qualidades e propriedades que podem desaparecer sob efeito das coações organizacionais da totalidade (OLIVEIRA, 2000). Destarte, não basta concebermos como problema central da explicação da ciência a manutenção das relações partes/todo; há que se ver também o caráter complexo dessas relações: ao mesmo tempo que o todo é mais que a soma das partes, ele também é menos que isso – a própria organização do todo pode inibir qualidades e propriedades das partes. Mas, sobretudo, importa-nos considerar que o todo é incerto.

A Biologia enquanto ciência autônoma e unificada é complexa, logo, incerta. Como poderíamos isolar ou fechar um sistema entre os sistemas de sistemas que emergem nos diferentes níveis da organização biológica? É igualmente incerta, complexa no sentido de que, no universo vivo, cada termo pode ser concebido simultaneamente como todo e como parte, por exemplo, no que concerne à espécie humana, o que é o todo sistêmico, o ecossistema, a sociedade, a espécie, o indivíduo, a célula, o genoma? Concordamos, enfim, com Morin (2014b) quando ele nos alerta que o objetivo de todo conhecimento não é descobrir “o segredo do mundo numa equação mestra da ordem que seria equivalente à palavra mestra dos grandes mágicos. O objetivo é dialogar com o mistério do mundo”. Sigamos dialogando...

3 PARA SE PENSAR O ENSINO A PARTIR DA COMPLEXA EMERGÊNCIA DA BIOLOGIA

Every object that biology studies is a system of systems.

François Jacob

A EMERGÊNCIA DA VIDA

A Biologia, do modo como aparentemente conhecemos hoje, nem sempre existiu. A palavra biologia é recente, possivelmente do século XIX¹⁵. Até essa data, não existia uma ciência que designasse esse campo específico. “[...] se a biologia era desconhecida, o era por uma razão bem simples: é que a própria vida não existia” (FOUCAULT, 1999, p. 175). Existiam somente os seres vivos, que eram estudados a partir de um campo de saber constituído pela História Natural.

Em sua obra *As palavras e as coisas*, Foucault assevera que a possibilidade de existência da História Natural é contemporânea do cartesianismo e até que ela se consolidasse, foi preciso que a história se tornasse natural.

O que existia no século XVI até meados XVII eram histórias: Belon escrevera uma *História da natureza das aves*; Duret, uma *História admirável das plantas*; Aldrovandi, uma *História das serpentes e dos dragões*. [...] Até Aldrovandi, a História era o tecido inextricável e perfeitamente unitário daquilo que se vê das coisas e de todos os signos que foram nelas descobertos ou nelas depositados (FOUCAULT, 1999, p. 176, grifo do autor).

Nesse período, fazer a história de um ser vivo significava nomear seus elementos ou órgãos, as virtudes que lhe eram atribuídas, as maneiras de capturá-lo, os medicamentos que se fabricavam a partir de suas substâncias, sua nutrição, as maneiras de deixá-lo saboroso, o que os antigos contam sobre ele, seus possíveis usos medicinais. Enfim, “a história de um ser vivo era esse ser mesmo, no interior de toda a rede semântica que o ligava ao mundo” (FOUCAULT, 1999, p. 176, 177). O historiador tinha a tarefa de realizar uma grande compilação dos documentos e dos signos que podiam constituir algo semelhante a uma marca.

¹⁵ Segundo Smocovitis (1992), nesse período Treviranus, na Alemanha, e Lamarck, na França, teriam cunhado de forma independente o termo “biologia”, embora naquele tempo isso ainda não significasse a sua consolidação como ciência autônoma.

A História Natural surgiria a partir de condições que se delinearam na idade clássica, na qual se confere um sentido diferente para a história: o de olhar minuciosamente as coisas e de transcrever fielmente aquilo que é observado. “A história natural não é nada mais que a nomeação do visível” (FOUCAULT, 1999, p.181). Observar é, pois, ver sistematicamente pouca coisa, ver aquilo que pode ser analisado, reconhecido por todos e receber, então um nome que será entendido igualmente por todos. Nesse contexto, a História Natural delineia seu objeto próprio: a extensão de que são constituídos os seres vivos, afetada por variáveis como a forma dos elementos, a sua quantidade, a maneira como se distribuem espacialmente uns em relação aos outros. Tanto com Buffon quanto com Lineu¹⁶, o método de investigação se exercerá sobre a forma, sobre a grandeza, sobre as diferentes partes, sobre a descrição ordenada que permitiriam reproduzir o próprio ser vivo (FOUCAULT, 1999).

Esse modo de investigação objetivava organizar o conhecimento dos organismos vivos a partir de sua representação como um quadro contínuo, ordenado e universalmente válido, a fim de descobrir categorias gerais na natureza (ARAÚJO e ARAÚJO, 2014). Com isso, o problema da ordem na natureza se torna a razão de ser da História Natural no século XVIII. Ordem que só poderia ser estabelecida a partir de uma visão de continuidade, capaz de projetar uma escala hierárquica entre os organismos (ARAÚJO e ARAÚJO, 2014).

Ao percorrer um espaço de variáveis visíveis e simultâneas, a fim de ordenar a natureza, a História Natural fixa os elementos comuns, estabelece signos a partir deles, impõe nomes, com efeito, classifica. Mayr (1998) argumenta que na medida em que se reconhece a riqueza dos tipos de organismos, que passam a ser catalogados e descritos, surge um grande desafio para a ciência. Num contexto onde o mundo ocidental passa a preocupar-se em estabelecer leis elementares, nenhum outro aspecto da natureza era tão rebelde à descoberta de leis e regularidades quanto a diversidade orgânica. Para o autor, na época se pensava que a única maneira de

¹⁶ Georges-Louis Leclerc – conde de Buffon (1707-1788), foi um naturalista francês cujos estudos contribuíram enormemente para a classificação dos seres vivos através de um minucioso trabalho de descrição de espécies animais e vegetais. Seu método de classificação natural baseava-se na existência de princípios de continuidade e de afinidade entre as diferentes espécies. Carolus Linnaeus - Lineu (1707-1778), naturalista sueco, desenvolveu um sistema hierárquico de classificação dos seres vivos com base na sua morfologia. Desenvolveu o sistema binomial de nomenclatura científica das espécies, usado até hoje.

detectar leis era ordenar a diversidade, mediante a sua classificação. Isso explicaria por que os naturalistas dos séculos XVII, XVIII e XIX eram tão obcecados pela classificação.

Com efeito, para que a classificação dos seres vivos fosse possível, era necessário que a natureza fosse, de fato, contínua. Por esse motivo, Foucault afirma que a História Natural não poderia se constituir como Biologia, pois a vida ainda não existia.

A vida não constitui um limiar manifesto a partir do qual formas inteiramente novas de saber são requeridas. Ela é uma categoria de classificação, relativa, como todas as outras, aos critérios que se fixarem. E, como todas as outras, submetia certas imprecisões desde que se trate de fixar-lhe as fronteiras (FOUCAULT, 1999, p.223).

Para o autor, o naturalista torna-se um homem do visível ordenado e da denominação, da classificação. Não um homem da vida. Por outro lado, porém, na mesma época a vida esboça uma autonomia em relação aos conceitos de classificação, escapando a essa relação crítica que era constituída do saber da natureza no século XVIII. A vida torna-se objeto de conhecimento em meio a tantos outros.

Na medida em que a organização do visível e do ordenável passa pela espessura dos seres vivos, há uma transformação essencial: o deslocamento do conhecimento do plano do visível ao plano da organização interna (ARAÚJO e ARAÚJO, 2014). Através da anatomia, o caráter passa a ser vinculado às funções: a ideia de organização possibilitou ao conhecimento da vida o estabelecimento “[...] de um conjunto integrado de funções: os seres vivos não possuem mais uma estrutura isolada, mas se inserem na natureza a partir de relações funcionais” (ARAÚJO e ARAÚJO, 2014, p. 190). Assim, a natureza passa a ser descontínua na medida em que é viva. Para Foucault (1999) é principalmente a partir dos estudos de Cuvier¹⁷ – que toma parte de circunstâncias históricas e epistemológicas que fizeram com que a vida surgisse com a devida especificidade – que o ser vivo escapa às leis gerais da classificação, da continuidade, rompe com suas vizinhanças taxonômicas e o ser biológico se regionaliza e se autonomiza. É justamente essa “[...] passagem da noção

¹⁷ Georges Cuvier (1769-1832), naturalista francês, realizou contribuições fundamentais em três áreas-chave da história natural: a anatomia comparada, a taxonomia e a paleontologia. Cuvier considerava que essas três áreas se articulavam e se complementavam na tentativa de compreender a organização dos seres vivos e extintos através de um método de classificação natural (FARIA, 2010). Para maiores detalhes sobre as contribuições de Cuvier à história do pensamento biológico, ver: CAPONI, Gustavo. **Georges Cuvier**: um fisiólogo de museo. México: Unam; Limusa, 2008.

taxionômica à noção sintética de vida” (FOUCAULT, 1999, p.370), que instaura condições para que ideia da Biologia possa ser pensada.

AS AUTONOMIAS DA BIOLOGIA

Mayr (1998) discute que, por vezes, é creditado a Lamarck a inauguração de uma nova era da biologia, pelas suas contribuições acerca da ideia de evolução das espécies. Porém, o autor argumenta que as ideias de Lamarck tiveram pouco impacto e que a proposição do termo “biologia” não criou propriamente a ciência Biologia. Além dos estudos em História Natural, havia a fisiologia médica e a unificação da Biologia ainda teria que esperar pelo estabelecimento da biologia evolutiva e pelo desenvolvimento de outras áreas, como a citologia.

Nesse contexto, as ciências biológicas ressentiam-se da falta de unidade que caracterizava as ciências físicas, visto que cada umas das várias disciplinas que a constituiriam futuramente teve a sua própria cronologia de nascimento e desenvolvimento (MAYR, 1998). Ao longo dos séculos XVII e XVIII, a História Natural compartimentou-se em zoologia e botânica, enquanto que na medicina, ao mesmo tempo, a anatomia, a fisiologia, a cirurgia e a medicina clínica foram se separando paulatinamente. Antes de 1800, a genética e a bioquímica que se tornaram dominantes no século XX, simplesmente não existiam (MAYR, 1998). Cada uma dessas disciplinas que se delineava vivenciou diferentes momentos de estagnação e de avanços, ou seja, experimentou seu próprio ciclo e, para Mayr, não se pode dizer que houve uma revolução geral de base mais ampla.

Aquilo que Mayr (1998) considera como o equivalente mais próximo de uma revolução nas ciências biológicas teria ocorrido entre 1830 e 1860, considerado um dos períodos mais excitantes da Biologia, no qual a embriologia recebeu forte impulso, quando a citologia e a química orgânica emergiram e quando uma nova teoria da evolução foi proposta por Darwin e Wallace. Destarte, a emergência de diversos e fragmentados ramos do conhecimento biológico levaram os cientistas a examinar o que poderia, enfim, conferir unidade a uma ciência Biologia (MARANDINO *et al.*, 2009).

Como não existia uma unidade para aqueles fenômenos cujo objeto de estudo girava em torno da vida e dos processos que explicam a organização, reprodução e manutenção dos organismos vivos, não era de se esperar que existisse, na ciência, lugar para uma filosofia específica que se ocupasse do conhecimento biológico, simplesmente porque a própria Biologia ainda não existia enquanto ciência legítima.

A filosofia biológica se desenvolve quando a Biologia emerge entre as ciências e passa a reivindicar sua autonomia. Até esse momento, a filosofia da ciência – enquanto área especializada da filosofia – também se constituía na primeira metade do século XIX (ABRANTES, 2011). Desde o seu surgimento, pode-se dizer que a filosofia da ciência foi fortemente marcada pelo modelo da Física, que apontava os problemas supostamente fundamentais e comuns a todas as demais ciências. A filosofia da Biologia se torna reconhecidamente uma área específica da filosofia da ciência e relativamente autônoma aparentemente em meados de 1970 (ABRANTES, 2011).

Inicialmente, a filosofia da Biologia tratou de discutir temas fundamentais dessa ciência, para, a partir deles, derivar gradualmente para a discussão de questões de cunho mais filosófico. Em seu livro, *Filosofia da Ciência Biológica*, de 1975, David Hull discute o papel da redução nas explicações das teorias e leis biológicas especialmente dentro de campos específicos como a genética e a evolução. A própria aplicabilidade e existência de leis e de teorias biológicas também é alvo de debate pelo autor, a fim de delimitar aquilo que é objeto de estudo específico da Biologia e de estabelecer aproximações e afastamentos entre esta e a ciência Física.

O que a emergência da filosofia da Biologia parece evidenciar é que desde que o termo “biologia” foi cunhado, a autonomia desta como ciência ainda é um ponto de amplas e controversas discussões entre os biólogos que se ocupam da filosofia e entre filósofos da ciência que pensam a Biologia. Argumenta-se, por um lado, que a autonomia verdadeira da Biologia só pôde ser requerida, de fato, com o advento da teoria da evolução, que finalmente desafiou a redução da Biologia à Física e à Química devido aos seus componentes metafísicos e ao mesmo tempo introduziu um agente mecânico-causal para a mudança evolutiva (SMOCOVITIS, 1992).

Um dos defensores da autonomia da Biologia frente aos demais campos do conhecimento foi o biólogo alemão Ernst Mayr (1904-2005). Mayr (2005, 2008) argumenta que as explicações biológicas não podem se ancorar no reducionismo característico das ciências físicas. Compreender e pensar o mundo vivo a partir de

leis e teorias físicas parecia não ser suficiente, visto que os organismos apresentariam propriedades emergentes, isto é, caracterizadas pelo surgimento de novidades genuínas a partir de processos antes inexistentes. As características dessa novidade são quali e quantitativamente diferentes de tudo aquilo que já existia e eram imprevisíveis antes da sua emergência, não somente na prática, mas também em princípio (MAYR, 2005).

Ao asseverar que a autonomia da Biologia passa pela recusa do fisicalismo reduutivo, que pressupõe a explicação em termos de teorias e leis físicas, Mayr justifica que a abordagem na análise biológica deve incluir, primeiro, a compreensão de que os sistemas vivos são ordenados e é desta ordenação que decorrem as suas propriedades, não simplesmente dos mecanismos físico-químicos dos componentes do sistema. Em segundo lugar, deve-se considerar que existem níveis de organização nesses sistemas, nos quais as propriedades de níveis superiores não necessariamente podem ser reduzidas ou explicadas por propriedades inerentes aos níveis inferiores. Ademais, os sistemas biológicos são capazes de armazenar informações historicamente adquiridas, o que seria inacessível a uma análise fisicalista reduitiva (MAYR, 2005).

É importante reiterar, no entanto, que o problema da autonomia permanece sendo uma das questões centrais da filosofia da Biologia. Trata-se de discutir se os princípios, teorias, leis da física são capazes de explicar todos os fenômenos da Biologia ou não. Contudo, nenhuma defesa da autonomia da Biologia poderia negligenciar o fato de que existe uma considerável área de sobreposição entre as explicações físicas e biológicas particularmente no nível molecular, onde a Física e a Química prevaleceriam. Isto posto, seria o caso de se defender uma autonomia completa da Biologia? Ou talvez fosse mais prudente apontar a existência de áreas igualmente importantes que não são superpostas pela Física, insistindo que somente uma ciência mais autônoma poderia dar conta de estudá-las adequadamente (EL-HANI, 2000)?

Ciente disso, Mayr (1998) reconhece a autonomia da Biologia em relação à Física, bem como as diferenças marcantes entre os sistemas vivos e os objetos inanimados, mas, ao mesmo tempo, não perde de vista a relação constitutiva entre os níveis biológico e físico-químico (EL-HANI, 2000). Devido a isso, é atribuída a Mayr uma posição explanatória parcialmente holista.

Smocovitis (1992) considera que Ernst Mayr, na sua tentativa de afastar a Biologia da redução às ciências físicas, foi um dos arquitetos mais sensíveis da filosofia da Biologia. O advento da biologia molecular em meados de 1950 ameaçou a autonomia da Biologia fortemente defendida por Mayr, pois possibilitou que a redução à Física ficasse evidente. No entanto, a ameaça de uma completa redução da biologia molecular à Física foi afastada por dois argumentos. Primeiro, Mayr declarou que a Biologia era constituída por duas biologias: a funcional e a evolutiva¹⁸. Enquanto os princípios mecânicos serviriam para explicar a primeira, propriedades emergentes constituiriam a segunda. A biologia evolutiva, então, sustentaria a Biologia, através do argumento da emergência, a uma distância absoluta da redução à Física e, ao mesmo tempo, se tornaria o elemento unificador dessa ciência (SMOCOVITIS, 1992).

O segundo argumento que ajudou a refutar a redução da Biologia surgiu a partir do trabalho de Dobzhansky (SMOCOVITIS, 1992). Ampliando o *continuum* do gene até o ser humano, Dobzhansky incorporou a molécula como o novo nível da evolução. Este novo nível iria fornecer funções integradoras que concorreriam tanto para a unidade da vida, nas suas conexões com as ciências físicas, quanto para a diversidade da vida, em sua conexão com a biologia orgânica. Física, química e biologia molecular explicariam a unidade da vida, enquanto que a biologia orgânica, a ecologia e as ciências sociais explicariam a sua diversidade. Os mecanismos evolutivos seriam o elo integrador na medida em que seriam responsáveis por ambas: pela unidade e pela diversidade da vida, preservando assim, a unidade das ciências¹⁹.

Para Smocovitis (1992), através de um movimento contínuo e seletivo de escrever e reescrever a história da Biologia é possível que a ideia de uma ciência autônoma seja, paulatinamente, reforçada. Ao que nos parece, tanto a história quanto a filosofia da Biologia sustentam a visão de que a Biologia é uma ciência unificada, muito embora ainda haja pontos para discussões filosóficas contemporâneas, como: problemas conceituais (por exemplo, os conceitos de função, de adaptação, de espécie), os níveis e unidades de seleção, as possíveis origens da cultura e a

¹⁸ Para maiores detalhes, ver: MAYR, Ernst. Cause and effect in biology. **Science**, v. 134, p.1501-1506, 1961.

¹⁹ Para maiores detalhes, ver: DOBZHANSKY, Theodosius. Biology, molecular and organismic. **American Zoologist**, v.4, n. 4, pp. 443-452, 1964.

evolução do comportamento animal, incluindo o comportamento humano, entre outros tópicos que vão muito além da questão da autonomia da Biologia.

Assim como a Biologia nem sempre figurou no cenário científico como um campo específico e autônomo da ciência, da mesma forma, na escola, o componente curricular Biologia também passou por semelhante processo. Após requerer sua autonomia enquanto ciência, no contexto educacional, a Biologia requereu também sua emancipação nos currículos escolares. Destarte, falamos aqui em autonomias, no plural, referindo-nos tanto ao processo de reconhecimento da Biologia como ciência quanto àquele que culminou na produção desta enquanto disciplina escolar.

Cientes de que o termo “disciplina” é passível de diferentes e vagas definições²⁰, concebemos este conceito a partir de Lopes (1999) como um conjunto de conteúdos de ensino, como equivalentes às ciências de referência, porém, “didatizadas”: além dos conteúdos específicos da ciência, a disciplina inclui também suas linguagens. Ou seja, é necessário ensinar, sobretudo, as suas lógicas, seu funcionamento. Nessa perspectiva, cada disciplina favorecerá um “[...] tipo de exercício mental diferente e todos esses sistemas de pensamento devem compor o currículo” (LOPES, 1999, p. 178)²¹.

É importante salientar que as disciplinas escolares nem sempre refletem diretamente a organização do conhecimento científico em subdivisões equivalentes àquelas reconhecidas pela ciência, muito embora esta possa servir como ponto de partida. Assim,

[...] a própria organização do conhecimento em disciplinas é por si só modificadora do conhecimento científico e constitutiva de um conhecimento escolar. Em primeiro lugar porque [...] conteúdo e forma são inseparáveis. Existe uma relação dialética entre essas duas instâncias que faz uma nova forma engendrar novo conteúdo e um novo conteúdo configurar diferentes formalizações. Portanto, se no processo de didatização conferimos novas formas aos conhecimentos científicos e/ou eruditos, organizando-os em disciplinas nem sempre correspondentes aos saberes de referência, igualmente produzimos novos conteúdos. O que não significa que estamos produzindo ciência: o conhecimento escolar compõe uma instância própria de conhecimento (LOPES, 1999, p. 181).

Olhar historicamente para as disciplinas escolares nos permite ter acesso às transformações ocorridas em uma disciplina ao longo do tempo, identificar aspectos

²⁰ Para uma análise histórica robusta da construção do conceito de disciplina e acesso aos diferentes significados atribuídos ao termo, recomendamos o trabalho de André Chervel (1990): *História das disciplinas escolares: reflexões sobre um campo de pesquisa*, publicado no periódico *Teoria & Educação*, n. 2, p. 177-229.

²¹ Como sinônimo de disciplina escolar também será empregado o termo componente curricular.

mais diretamente ligados às mudanças de conteúdos ensinados, práticas e finalidades de ensino, como também compreender quais são os condicionantes, os mecanismos e os fatores da seleção cultural que fazem com que parte do conhecimento produzido seja considerada em detrimento de outra (CASSAB e SELLES, 2009). Excede os limites deste texto discutir o rumo das propostas curriculares no ensino de Biologia, bem como os critérios de seleção dos conteúdos a serem ensinados. Nosso esforço concentra-se em elencar os aspectos que marcaram o processo de construção da disciplina escolar Biologia – nas relações que esta estabeleceu com sua ciência de referência – inscrito em um período histórico de transição entre o ensino de História Natural e a Biologia.

É sabido que até a consolidação do que hoje convencionamos identificar como Biologia, havia em seu lugar um número bastante vasto de campos de pesquisa interessados no mundo dos organismos vivos, tais como a medicina, a anatomia, a fisiologia e a embriologia humanas e ainda aqueles identificados com as tradições da história natural, como a zoologia e a botânica (CASSAB *et al.* 2012). Ao que tudo indica, a biologia escolar como conhecemos teria tido suas origens a partir do ensino desta última. No Brasil, a disciplina de História Natural esteve presente nos currículos do Colégio Pedro II²² nos séculos XIX e XX e abrangia principalmente a zoologia, a botânica e a geologia e a mineralogia (SANTOS e SELLES, 2014).

Inicialmente o programa curricular de História Natural em vigor nas escolas brasileiras estruturava-se sob a influência do ensino europeu, tanto pelos materiais didáticos que eram utilizados quanto pela chegada de professores estrangeiros que passavam a lecionar nas escolas superiores brasileiras (KRASILCHIK, 2011). Segundo a autora, essa influência se manifestava na tendência do ensino em tratar os conteúdos e conceitos considerando os vários grupos de organismos separadamente e suas relações filogenéticas. Ademais, nesse período, atividades práticas de ensino tinham como objetivo principal ilustrar e reforçar conceitos teóricos estudados previamente.

²² Até 1931 competia ao Colégio Pedro II, mantido pela União, e aos ginásios estaduais equiparados a elaboração dos programas curriculares do, então, ensino secundário. A reforma de 1931 (Decreto n. 19.890 de 1931) estabeleceu que os programas curriculares e as instruções metodológicas do ensino secundário passariam a ser de responsabilidade do Ministério da Educação e Saúde Pública. Em 1951, sua elaboração volta a ser de competência do Colégio Pedro II (Portaria Ministerial n. 966, de 2/10/1951). Com isso, os currículos desta escola foram tomados como balizadores para as outras instituições escolares do país, sendo uma referência nos estudos no campo da História do Currículo no Brasil.

É possível identificar a presença de conteúdos próprios da Biologia em programas de ensino do Colégio Pedro II, do final do século XIX à primeira metade do século XX, mesmo quando não existe uma matéria com tal denominação (SANTOS e SELLES, 2014). Por volta de 1930, o intelectual Cândido Firmino de Mello Leitão, atuou de maneira significativa no âmbito do ensino de História Natural ao produzir a coleção didática “Curso Elementar de História Natural” e que serviu de fonte documental para os trabalhos de Spiguel e Selles (2011, 2013). As autoras destacam a relevância das obras do professor Mello Leitão tendo em vista que as mesmas foram produzidas em um período histórico no qual o Ministério da Educação e Saúde impulsionava as políticas educacionais no âmbito nacional, paralelamente à reforma educacional de 1931 que previa maior carga horária para o ensino das ciências.

A análise dos materiais didáticos produzidos por Mello Leitão leva em conta o processo de modernização, expansão e industrialização do período e que deveria ser consolidado ideologicamente com a ajuda da escola (SPIGUEL e SELLES, 2013). Assim, as autoras argumentam que, naquele contexto, cabia à escola evidenciar as recentes descobertas e avanços científicos realizadas, exaltar as pesquisas nacionais, o cientificismo e o profissional cientista, além de enaltecer o desenvolvimento político, econômico e social. Como resultados, as obras do professor Mello Leitão iam ao encontro de um ensino de História Natural que fosse mais prático e experimental em detrimento da descrição e memorização de informações anatômico-fisiológicas dos animais, por exemplo. Ademais, compreender a fauna e a flora para valorizar a biodiversidade brasileira, conhecer as espécies nacionais e respeitar a natureza eram objetivos que perpassavam o ensino da História Natural (SPIGUEL e SELLES, 2013).

Santos e Selles (2014) destacam que também nas escolas norte-americanas, antes do aparecimento da biologia escolar unificada, à zoologia, à botânica e à fisiologia humanas era atribuída grande importância. Em linhas gerais, entendemos que ao ensino de História Natural cabia uma descrição organizada do mundo vivo, o estudo da biodiversidade, dos mecanismos de funcionamento dos órgãos e sistemas responsáveis pela manutenção dos organismos. Esse contexto de fragmentação dos saberes reforçava o *status* inferior dos conhecimentos biológicos em relação às ciências mais consolidadas, especialmente em relação à Física (MARANDINO *et al.*, 2009).

Não podemos deixar de assinalar que no contexto científico as pesquisas em História Natural igualmente tiveram grande contribuição de estudos descritivos. Mayr

(1998) considera que alguns pesquisadores não fizeram nada mais do que descrever espécies em seus trabalhos, como foi o caso de Lineu e que o próprio Darwin conhecia profundamente diferentes grupos de organismos, que incluíam desde insetos, seu grupo preferido, até mamíferos, aves, répteis, anfíbios, invertebrados marinhos, mamíferos fósseis e plantas.

Os estudos em História Natural contribuíram, inclusive, para que outras questões científicas fossem alvo de interesse e investigação, como: o que realmente conhecemos sobre o mundo em que vivemos? Por que a fauna distribuída ao redor do mundo não é uniforme? Como continentes isolados da América e da Austrália foram colonizados? Tais dúvidas teriam sido o ponto de partida para o surgimento de pesquisas em biogeografia, em ecologia e em evolução, áreas constituintes das ciências biológicas atualmente (MAYR, 1998).

A fisiologia e a anatomia humanas eram áreas mais experimentais e que questionavam o caráter científico da História Natural (MAYR, 1998). No entanto, na escola, essas áreas eram contempladas dentro da zoologia e ensinadas principalmente através da descrição de informações anatômicas e fisiológicas dos animais (SPIGUEL e SELLES, 2013).

O movimento pela unificação das ciências biológicas em meados do século XX, ancorado na evolução como elo integrador da Biologia, redesenhou não apenas o seu estatuto científico, mas também abalou as tradições da História Natural. Neste período, emergem novos campos de pesquisa: a biologia molecular, a ecologia, a etologia, o que também influenciou a trajetória da disciplina História Natural na escola (SANTOS e SELLES, 2014). Assim, vemos a autonomia da ciência Biologia ser requerida e proporcionar elementos para que a Biologia escolar também ensaiasse o mesmo movimento.

Ao mesmo tempo em que a releitura evolutiva dos conhecimentos biológicos e a incorporação de novos métodos exerciam influências sobre a seleção curricular, as iniciativas de divulgação científica no início do século XX foram decisivas para a popularização e para a consolidação da Biologia no Brasil, o que ampliou a confiabilidade da ciência e influenciou a seleção dos conteúdos escolares (DUARTE, 2009). Embora a configuração da Biologia como uma nova disciplina escolar guarde proximidade com o desenvolvimento das ciências biológicas, ela deve ser concebida de modo a se considerar as especificidades que o contexto escolar imprime nesse processo (MARANDINO *et al.*, 2009): a Biologia escolar dará conta não somente de

conteúdos vinculados ao mundo acadêmico, mas também não se furtará de abordar temas que atendam às necessidades sociais, ambientais, políticas que sejam relevantes no contexto no qual se ensina.

A consolidação da disciplina Biologia no currículo escolar aparentemente teria ocorrido por volta de 1960, mantendo esta denominação até os dias atuais no ensino médio (SANTOS e SELLES, 2014). Ao longo dos anos, esse componente curricular vem sofrendo transformações resultantes não apenas de tendências sócio históricas, mas também de condicionantes da instituição escolar, que incluem a influência de novas ideias, concepções e práticas oriundas tanto de grupos de pesquisas que atuam no âmbito da disciplina escolar quanto daqueles mais intimamente relacionados à produção do conhecimento biológico (SPIGUEL e SELLES, 2011).

Consideramos importante assinalar que a emergência da Biologia escolar não equivale a uma disciplina análoga à História Natural, dotada de uma nova roupagem e denominação. Há diferenças significativas entre elas quer no que tange à seleção e organização dos conhecimentos (SANTOS e SELLES, 2014), quer no que se refere à sua epistemologia. Os conhecimentos que se caracterizavam pelos ramos mais descritivos da história natural, como a zoologia e a botânica, passam a ser incorporados juntamente com os estudos em citologia, embriologia, fisiologia humana, todos de caráter mais experimental, dentro das ciências biológicas (MARANDINO *et al.*, 2009).

Krasilchik (2011) salienta que a Biologia, como é apresentada, ensinada e aprendida hoje nas escolas, ainda reflete o momento histórico do grande progresso e desenvolvimento científico das décadas de 1950 e 1960 e que delegou à ciência o papel de solucionar os problemas da humanidade e, paradoxalmente, também os problemas decorrentes do uso da ciência e da tecnologia. Essa representação ingênua do papel da ciência que ainda parece presente na escola precisa ser confrontada, tendo em vista o seu caráter essencialmente provisório, como nos recorda Morin (2014b, p. 56): “[...] a ciência não tem verdade, não existe uma verdade científica, existem verdades provisórias que se sucedem, onde a única verdade é aceitar essa regra e essa investigação”. Nesse sentido, a história da ciência, como a de todas as ideias humanas, assinala que os erros são sistematicamente produzidos e constantemente corrigidos, sendo também constituintes do fazer científico. Acreditamos que a história do desenvolvimento do pensamento biológico que culminou com o movimento de unificação da Biologia seja ferramenta importante para

a problematização da ciência na escola, mas sobretudo, para a compreensão da incerteza e da provisoriedade do conhecimento.

O ENSINO FRENTE ÀS AUTONOMIAS DA BIOLOGIA

Campo frutífero de pesquisas e de descobertas, as discussões acerca da epistemologia e do fazer da ciência Biologia não se restringem (ou não deveriam se restringir) somente aos biólogos e filósofos. Não podemos esquecer que a ciência biológica é ensinada e aprendida nas escolas, para onde tal discussão também necessita estender-se. Compreendemos as histórias dos processos nem sempre consensuais de unificação da Biologia-ciência e da Biologia-disciplina escolar como algo que se entrelaça, se encontra.

Obviamente, não reproduzimos na escola as condições experimentais, nem os métodos, os critérios ou as hierarquias da ciência Biologia e, tampouco, os conhecimentos escolares são sinônimos de conhecimentos científicos (BELLINI, 2007). Todavia, embora a ciência seja contextualizada na sala de aula,

[...] podemos aproximar as bases epistemológicas da Biologia às do ensino desta ciência na escola. Por biologia entendemos [...] os conhecimentos fundamentais da área, como a classificação e a anatomia comparada, campos cujos marcos foram importantes para o nascimento das ciências biológicas (BELLINI, 2007, p. 31).

Nós, professores, somos formados a partir de dois elementos estruturantes: a especificidade da ciência na qual se processa nossa formação (Biologia, Física, História, etc.) e os aspectos didáticos-pedagógicos que engendram o seu ensino e aprendizado (NASCIMENTO JR. et al., 2011). Nossa prática docente se configura frente aos sucessivos *imprintings* que sofremos. Marca original e irreversível imposta pela cultura, primeiramente familiar, depois social, que mantemos conosco até a vida adulta (MORIN, 2014b), o *imprinting* faz com que tenhamos uma ideia firme acerca do que significa conhecer, ensinar, aprender e estruturará nosso fazer pedagógico. À medida que desenvolvemos consciência dessas marcas podemos tentar nos manter abertos à invenção e à reflexão para, então, nos libertarmos das verdades e certezas por elas determinadas. Assim, pensamos que o resgate filosófico-epistemológico das ciências biológicas nos ajuda a compreender como o desenvolvimento do pensamento biológico imprimiu suas marcas na escola, por conseguinte influenciando as

metodologias de ensino e aprendizagem adotadas pelos professores no ensino da Biologia escolar.

A história do desenvolvimento do pensamento biológico parece evidenciar que, assim como a Biologia, cada ciência apresenta aspectos particulares de sua epistemologia o que impede que todas as ciências sejam reduzidas a um esquema epistemológico único. A Biologia, com efeito,

[...] nasceu como ciência classificando plantas e animais; são seus "objetos" de conhecimento. Elucida as relações desses "objetos" explicando de modo causal as classificações, para estabelecer as leis entre estes objetos. Este modo de compor a área, ou seja, enfatizando a estrutura de classes, leis e explicações, não alcançou em todas as áreas da ciência Biologia um nível matemático. Na classificação e comparação de formas de seus objetos, conservou o caráter qualitativo ou lógico, sem uma dedução propriamente dita, como ocorreu na Matemática e na Física (BELLINI, 2007, p.32).

Se pensarmos na escola, essa diferente natureza epistemológica de cada ciência é fundamental para se discutir os processos de ensino e de aprendizagem. Para Piaget (1987), a natureza do conhecimento biológico se constituiu de maneira diferente do conhecimento físico e do matemático: o pensamento biológico, de estrutura essencialmente realista e experimental, confere primazia ao objeto (plantas, animais, fósseis), reduzindo assim a atividade do sujeito essencialmente à criação teórica e à dedução. Considerando que o sujeito, na concepção piagetiana é “[...] o elemento conhecedor, ativo, o centro de onde se origina o conhecimento; o produtor do conhecimento, em estrutura e conteúdo” (BECKER, 2012a, p. 15), é na sua ação que o conhecimento se origina: através da assimilação de elementos do meio ao seu redor, reconhecidos como objetos. Nesse sentido que Piaget (1987) assevera que o pensamento biológico é realista; o biólogo nunca duvida da existência dos seres vivos que estuda (objeto); não pode duvidar, por exemplo, que os fósseis encontrados são um registro da existência de organismos que efetivamente viveram em uma outra era geológica. O biólogo não pode fugir de seu objeto... Não é possível descrever uma determinada espécie de animal sem a presença do animal, sem observações atentas, sem estabelecer comparações entre eles e outras espécies animais já descritas e conhecidas previamente. Do objeto extraímos os dados. Nesse sentido, a dedução teria papel secundário na Biologia, por esta ser uma forma de conhecimento que abarca a história de desenvolvimentos (BELLINI, 2007).

Piaget (1987) apresenta o exemplo da evolução dos invertebrados aos vertebrados para ilustrar que a dedutibilidade da vida se baseia, em particular, no caráter histórico de todo o desenvolvimento dos organismos. Consideremos

inicialmente a forma como um grupo de vermes sofreu modificações e adquiriu a estrutura de um anfioxo; pois bem, esta evolução dos vermes aos protocordados e aos vertebrados inferiores constitui uma história real e que é impossível de ser reproduzida na atualidade de acordo com os detalhes do passado. “A história, com efeito, não se repete ou não se repete em grau suficiente para permitir uma reconstrução dedutiva” (PIAGET, 1987, p. 10), visto que ela depende de um somatório de eventos, da interferência entre um número considerável de sequências causais relativamente independentes umas das outras. Este aspecto de insuficiente determinação que caracteriza o conceito de história quando aplicado a fatos particulares, assume na Biologia uma importância primordial e explica a resistência da realidade das formas vivas aos métodos dedutivos.

Se na elaboração do conhecimento biológico a primazia é do objeto, na matemática, pelo contrário, a primazia é do sujeito:

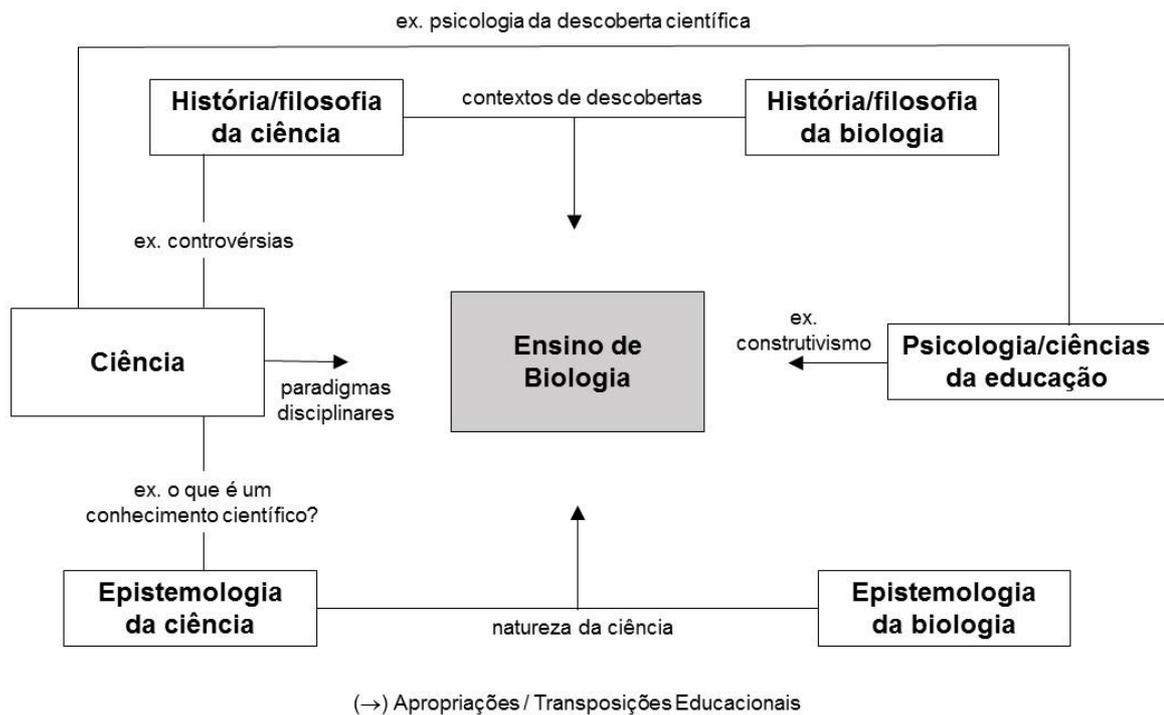
[...] na matemática, a atividade operatória do sujeito parece ser a única em jogo, independentemente de todo elemento experimental tomado do objeto. [...] Os conhecimentos matemáticos não se originam de uma abstração a partir dos objetos, mas de uma abstração a partir da coordenação das ações. O sujeito elabora o seu pensamento (isto implica dizer coordenação de suas ações) por meio da formulação das leis mais gerais do universo, graças à aplicação de suas operações aos objetos. Desse modo, a matemática é produto da atividade do sujeito (BELLINI, 2007, p. 33).

Tomando apenas a Matemática e a Biologia como exemplos, evidenciamos que a elaboração do conhecimento por cada uma dessas áreas difere absolutamente na sua epistemologia, enfatizando a primeira, essencialmente a atividade do sujeito, enquanto a segunda, a do objeto. Se a natureza epistemológica das ciências diverge, ao transpormos seu ensino para a escola, parece que não será possível ensinar todas as disciplinas científicas em um mesmo padrão metodológico: o ensino de determinados conceitos biológicos requer pensar estratégias de observação e experimentação, o que não é estritamente necessário na Matemática, por exemplo (BELLINI, 2007).

Destarte, consideramos necessária a reflexão acerca do quanto e de que maneiras os professores se apropriam da epistemologia da ciência, para, a partir desta, definirem o quadro epistemológico de sua disciplina específica no momento da construção do conhecimento junto aos seus alunos. Em síntese, acreditamos que o ensino de Biologia perpassa elementos da epistemologia, história e filosofia da ciência e da própria Biologia em articulação com as ciências da educação (Figura 2).

Como uma rede, a lógica da construção do ensino de Biologia necessita dialogar de modo profícuo com as ciências da educação, tendo em vista que os conhecimentos biológicos são atravessados pelas epistemologias das práticas do trabalho docente. Aqui, destacamos que as disciplinas escolares atendem a objetivos bem diferentes daqueles desenvolvidos pela ciência: a esta cabe a construção do conhecimento novo, a busca pelo desconhecido, a retificação e reconstrução do que já se conhece (LOPES, 1999). Já as disciplinas escolares trabalham frente a aceitação prévia do conhecimento produzido pela ciência e objetiva torná-lo ensinável e acessível ao nível de compreensão dos estudantes. Tal processo não consiste em uma mera transmissão, mas requer, necessariamente, a (re)construção do conhecimento.

Figura 2 - Elementos constituintes do ensino de Biologia.



Fonte: elaborado pela autora com base em Cachapuz *et al.* (2004, p. 365).

Nesse caso, a mediação pedagógica modifica o conhecimento científico, por se valer da transposição de uma linguagem formal em linguagem não-formal, mas também por propor padrões de explicação que sequer interessam aos cientistas (LOPES, 1999). Isso explica por que, não raro, encontramos professores que explicam

fenômenos, conceitos e processos biológicos mais simples com maior nível de compreensão do que um biólogo especialista.

Ademais, enquanto ciência legítima, a Biologia incorpora elementos da epistemologia da ciência – como o pensamento biológico se constitui frente ao objeto de pesquisa: a vida, os seres vivos, suas interações, etc. A partir disso, concordamos com Lopes (1999) que o aprendizado dos conceitos biológicos na escola igualmente pressupõe o aprendizado das atitudes e das formas de pensar próprias da comunidade científica.

Para ir além: o ensino de Biologia como um holograma

O ensino de Biologia resulta, enfim, da articulação desses elementos elencados e da íntima ligação entre o terreno onde se dá o seu desenvolvimento e os problemas com os quais a prática docente se depara. Propomos pensa-lo, então, a partir do *princípio hologramático*, que coloca em evidência o paradoxo das organizações complexas: a organização do todo (*holos*) necessita da inscrição do todo (holograma) em cada uma das suas partes contudo singulares (MORIN, 2015).

A holografia, em seu sentido original, é um procedimento de fotografia sem lentes que permite gerar imagens tridimensionais dos objetos a partir da impressão dos padrões de interferência entre dois feixes de luz em uma placa fotográfica: um que ilumina diretamente a placa e outro que é refletido pelo objeto (NAVARRO, 2002). Deste modo, a técnica holográfica permite transformar a representação bidimensional do objeto inscrita no holograma em “[...] uma imagem tridimensional que reproduz a inteira aparência desse objeto” (NAVARRO, 2002, p. 236). Em um holograma (do grego *holos*, total, e *gramma*, inscrição ou desenho) está presente uma informação de certo modo completa das características espaciais do objeto representado, muito embora essa informação aparentemente não guarde muitas semelhanças com a imagem que a partir dela é gerada (NAVARRO, 2002).

Destacamos o aspecto constitutivo da holografia, na medida em que cada parte do holograma possui uma informação global sobre o objeto representado. Porém, somente através da interação entre essas partes torna-se possível reconstruir esse objeto de maneira clara (NAVARRO, 2002). Ao tomarmos o holograma fotográfico

como uma metáfora, dele aparentemente emerge a ideia de um princípio de organização e de complexidade, presente, por exemplo, nos organismos multicelulares, nos quais

[...] cada célula é uma parte do todo – organismo global –, mas também o todo está na parte: a totalidade do patrimônio genético está presente em cada célula individual; a sociedade está presente em cada indivíduo, enquanto todo, através de sua linguagem, sua cultura, suas normas (MORIN, 2012a, p. 94).

Para Navarro (2002), a organização dos organismos multicelulares como um “holograma biológico” seria o fundamento da aparição de domínios de realidade claramente emergentes no âmbito da vida, como formas de conduta complexas e fenômenos mentais. Nesse sentido, o autor defende que é possível assumir como hipótese de trabalho a afirmação de que as realidades sociais próprias de nossa espécie se estruturam de acordo com um estilo de organização semelhante ao holográfico. E isso em vários sentidos...

Trata-se de procurar sempre as relações e inter-retroações entre cada fenômeno e seu contexto, as relações de reciprocidade todo/partes: como uma modificação local repercute sobre o todo e como uma modificação do todo repercute sobre as partes. Trata-se, ao mesmo tempo, de reconhecer a unidade dentro do diverso, o diverso dentro da unidade; de reconhecer, por exemplo, a unidade humana em meio às diversidades individuais e culturais, as diversidades individuais e culturais em meio à unidade humana (MORIN, 2012a, p. 25).

Desde as condições engendradas a partir do desenvolvimento dos estudos em História Natural, que permitiram que emergisse a ideia de vida, vimos que a Biologia é atravessada e constituída por todo um arcabouço histórico-filosófico que possibilitou a sua emergência e reconhecimento enquanto ciência. Todas essas circunstâncias passam a ser uma referência importante que influenciou e contribuiu para a problematização do seu ensino na escola, o que nos leva a propor que pensar a Biologia a partir da complexidade implica considerar que “[...] elementos diferentes são inseparáveis constitutivos do todo” (MORIN, 2000, p. 38) e que há um tecido interdependente e inter-retroativo entre o ensinar Biologia, o contexto da escola, a natureza do conhecimento científico, o fazer ciência, a construção do conhecimento, ou seja, entre as partes e o todo, entre o todo e as partes e as partes entre si.

Para Morin (2015, p. 113),

[...] cada ponto do objeto hologramado é “memorizado” pelo holograma inteiro, e cada ponto do holograma determina não imagens mutiladas, mas imagens completas, tornando-se cada vez menos precisas na medida em que se multiplicam.

Ao considerarmos o ensino de Biologia à luz da metáfora do holograma, assumimos que nele se inscrevem a história do desenvolvimento do pensamento biológico, a epistemologia da ciência e da Biologia, os aspectos pedagógicos e didáticos relativos ao ensino, bem como a cultura e o contexto sócio político no qual a escola está imersa. Tal como as organizações hologramáticas, as partes constituintes podem ser dotadas de autonomia relativa, dispondo de aspectos gerais e genéricos da organização do todo (MORIN, 2015). Com efeito, evidenciamos que se desenvolvem pesquisas relativamente autônomas nas áreas da epistemologia da Biologia, das ciências da educação, do ensino propriamente dito. Mas, ao mesmo tempo em que são relativamente autônomas, é possível estabelecermos comunicações entre elas e através dessas comunicações “[...] realizar trocas organizadoras” (MORIN, 2015, p. 114).

Na medida em que pode ser concebido como uma parte do todo, o ensino de Biologia traz no seio da sua singularidade a história da ciência, o conhecimento da natureza, do mundo, incluindo seus mistérios, seus desconhecimentos e suas incertezas. Não podemos, nessa perspectiva, pensar o ensinar Biologia somente a partir de um elemento único; da epistemologia da ciência ou das ciências da educação, por exemplo. Trata-se de concebermos o ensino de Biologia nas suas inter-retroações com a ciência, com a história, com a escola, com a humanidade, sem deixarmos de reconhecer, simultaneamente, a sua especificidade dentro do diverso. Da metáfora do holograma assumimos que “[...] o todo está na parte que está no todo, e a parte poderia estar mais ou menos apta a regenerar o todo” (MORIN, 2015, p. 113).

Acreditamos que um dos desafios contemporâneos na formação de atuais e futuros professores de Biologia seja aumentar o papel, as interações e as abordagens dessa ciência na sua interface com outras áreas, especialmente com a filosofia e a epistemologia, na tentativa de ensaiar um movimento de complexidade. Assim, ao aprender e ensinar biologia, não podemos simplesmente isolar uma palavra, uma informação; é necessário ligá-la a um contexto e mobilizar nosso saber, a nossa cultura, para chegar a um conhecimento oportuno e apropriado da mesma (MORIN, 2011a).

Nesse sentido, elencar aspectos históricos da construção e consolidação das diferentes teorias científicas através dos séculos pode ser determinante na compreensão de tais fenômenos e do caráter dinâmico da ciência na escola. Tomando

como exemplo a biologia, apresentar elementos do desenvolvimento do pensamento evolutivo bem como as razões pelas quais podemos considerar a evolução biológica como sendo o eixo unificador da biologia possibilita a compreensão de temas atuais dessa disciplina na escola de maneira mais integradora e sistematizada (MEGLHIORATTI, 2004; MEYER e EL-HANI, 2005; CORRÊA *et al.*, 2010), contribuindo para combater uma visão distorcida e simplista das teorias biológicas (BIZZO, 1991).

Adicionalmente, ao considerar episódios históricos, como as diferentes teorias propostas por Lamarck e Darwin (isso para não citar outros tantos naturalistas), que concorreram para explicar a evolução biológica, a ciência revela-se como um processo de desenvolvimento de conceitos até as concepções aceitas atualmente. Para Hull (1975, p. 79),

Somos propensos a pensar que os iniciadores de grandes revoluções científicas rompem completamente com o passado – algo que eles, de fato, nunca fazem. Assim como Copérnico manteve os epiciclos ptolomaicos, também Darwin reteve em sua obra vestígios das teorias biológicas anteriores. Embora sustentasse durante a vida inteira que a seleção natural era a principal força condutora na evolução, Darwin aceitou a influência secundária do uso e desuso, assim como o efeito direto do meio.

Como nos exorta Morin (2000, p. 31): “[...] quantas fontes, quantas causas de erros e de ilusão múltiplas e renovadas constantemente em todos os conhecimentos!”. Daí decorre a necessidade de enfatizarmos, seja através da Biologia, ou de qualquer outra ciência, as interrogações que se desdobraram através das possibilidades de conhecer e que deram lugar a novas ideias, que, por sua vez, serviram de ponto de partida para outros questionamentos. Assim como viver é, ao mesmo tempo “[...] sofrer a degradação ininterrupta de moléculas de nossas células, das células de nossos organismos, e produzir sua regeneração/reprodução ininterrupta” (OLIVEIRA, 2000, p. 281, 282), conhecer é sofrer a biodegradabilidade do conhecimento, desconfiar das certezas absolutas, rever e regenerar nossos conceitos, colocar as ideias em suspensão continuamente.

4 SOBRE OS SUJEITOS PROFESSORES

O universo só é conhecido pelo homem através da lógica e das matemáticas, produtos de seu espírito, mas ele só pode compreender como as construiu estudando a si mesmo, psicológica e biologicamente, ou seja, em função do universo inteiro.

Jean Piaget

O conhecimento isolado que obteve um grupo de especialistas em um campo determinado não tem em si nenhum valor de nenhuma espécie. Ele só tem valor no sistema teórico que o reuniu a todo o resto de conhecimento, e apenas na medida em que ele contribuiu realmente nesta síntese para responder a questão: “Quem somos nós?”.

Schrödinger

Eu sou eu e minha circunstância, e se não salvo a ela, não me salvo a mim.

José Ortega y Gasset

A Complexidade nos apresenta uma realidade que é múltipla: simultaneamente ecológica, econômica, psicológica, mitológica, sociológica. Por que, então, insistimos em estudar essas dimensões separadamente, como se nada influenciassem e fossem influenciadas umas pelas outras? Se a própria realidade que atravessa nossas vidas é plural, é possível considerar que temos uma experiência de vida única? Ou quantas vidas parecemos viver? Vivemos as vidas de nossos pais, vivemos a vida de nossos amores, de nossos amigos. Vivemos porque temos uma dimensão social que ora nos faz andar sozinhos por nossas próprias pernas; ora nos leva a depender da presença, do olhar, da ajuda, da ação do outro. Viver, ser sujeito, é ser autônomo e ao mesmo tempo dependente. “É ser alguém provisório, vacilante, incerto, é ser quase tudo para si e quase nada para o universo” (MORIN, 2011a, p. 66).

Para sermos nós mesmos e expressarmos a nossa individualidade e nossa autonomia precisamos estabelecer relações, aprender uma linguagem, nos inserir em uma cultura, em um saber e mais:

[...] é preciso que essa própria cultura seja bastante variada para que possamos escolher no estoque das ideias existentes e refletir de maneira autônoma. Portanto, essa autonomia se alimenta de dependência; nós dependemos de uma educação, de uma linguagem, de uma cultura, de uma

sociedade, dependemos claro de um cérebro, ele mesmo produto de um programa genético, e dependemos também de nossos genes. (MORIN, 2011a, p. 66).

Nossa dependência estabelece-se, inclusive, no âmbito orgânico, biológico. Todo o funcionamento homeostático do nosso organismo depende, em maior ou menor grau, dos genes que possuímos e expressamos. Recursivamente, Morin (2011a) assevera que nossos genes igualmente nos possuem, sendo eles a ditarem ao nosso organismo as estratégias e recursos necessários à sobrevivência e vai além: é, graças a esses genes que somos capazes de ter um cérebro, de pensar, de ter uma mente que nos permite assumir numa cultura os elementos que nos interessam e, assim, desenvolver nossas próprias ideias.

O PRINCÍPIO DE AUTO-ECO-ORGANIZAÇÃO

A vida que pulsa no interior de cada um de nós, humanos, organismos vivos, enfrenta desafios constantes para garantir a sua manutenção. Viver é dar conta de um mundo de desequilíbrios que se apresentam nos mais diferentes níveis da organização biológica. Dos genes até a célula, os tecidos, os órgãos, os sistemas de órgãos, os organismos inteiros e as interações que estes estabelecem uns com os outros e com o meio que os cercam existe uma intensa necessidade de conservar o ser e a vida. Biológica e organicamente, o sistema vivo está construído de forma a lutar contra as ameaças, pela manutenção do equilíbrio de suas estruturas e funções tanto no nível bioquímico, no nível de desenvolvimento e, em organismos mais complexos, também no nível comportamental. Viver é agir. Agir é autorregular-se.

Os seres vivos são auto-organizadores. Em todas as etapas da organização vital, reconhecemos que, com efeito, buscamos essencialmente mecanismos que garantam regulações (PIAGET, 1973). No nível fisiológico, tais mecanismos concorrem para garantia e manutenção da homeostase; equilíbrio dinâmico entre regulações hormonais e nervosas que concorrem para a coordenação do conjunto. No nível genético, nosso genoma consiste em um sistema organizado, dotado de genes reguladores e estruturais, que se renovam ininterruptamente por um metabolismo interno que igualmente atua para a conservação a estrutura do conjunto

(PIAGET, 1973). No incessante processo de auto-organização, o estado de equilíbrio do conjunto é degradável e provisório, nunca se mantém o mesmo: um novo equilíbrio nunca é igual ao anterior: contém sempre novidades.

Ao mesmo tempo que são dotados de mecanismos que buscam garantir a vida/sobrevivência, os organismos vivos dependem de energia, de informação e organização do ambiente no qual estão inseridos. Para Morin (2015), a ideia de (auto) organização viva substitui a ideia de matéria viva. A partir da descoberta do DNA, molécula na qual se inscrevem as informações genéticas, os sistemas vivos podem ser considerados como “máquinas” computantes, programadas para resolver incessantemente os problemas do viver, que são, também, os do sobreviver. Tais problemas são “[...] os da alimentação e da defesa num ambiente aleatório. Também o ser vivo computa o seu meio, extrai dele informações para reconhecer o que pode alimentá-lo ou destruí-lo” (MORIN, 2015, p. 50).

Viver, sobreviver, requer um princípio de auto-organização que evidencia, simultaneamente, a autonomia e a dependência do organismo em relação ao meio e aos outros sistemas vivos. Enquanto auto-organizadores que se autoproduzem e autorregulam incessantemente, dispendendo energia para salvaguardar sua própria autonomia, os organismos vivos têm uma dupla identidade: “uma identidade própria que os distingue; uma identidade de dependência ecológica que os liga a seu ambiente.” (MORIN, 2013, p. 252). Destarte, recorremos ao *princípio de auto-eco-organização* para desenvolver a ideia de que a “autonomia do indivíduo se adquire a partir de inúmeras dependências” (MORIN, 1986, p. 159).

A relação ecológica que se estabelece entre organismo-ambiente evidencia que constantemente “[...] por algum aspecto, um sistema aberto de entrada faz parte de seu ambiente, o qual faz parte do dito sistema, já que ele o penetra, atravessa-o e o coproduz” (MORIN, 2013, p. 252). O princípio da auto-eco-organização vale especialmente para humanos, que desenvolvem sua autonomia na dependência de sua cultura, na medida em que há entre o organismo e o meio no qual este se insere interações tais que as duas espécies de fatores (organismo e meio) apresentam importância igual e são indissociáveis (PIAGET, 1973).

O ambiente não é somente copresente; ele também é co-organizador. O ambiente é muito mais que um nicho, que uma fonte de recursos, de informações, de desequilíbrios, da qual o ser vivo obtém informação e complexidade. O ambiente é “uma das dimensões da vida, tão fundamental quanto a individualidade, a sociedade,

o ciclo das reproduções” (MORIN, 2013, p. 253). Eis aqui a ideia chave do princípio de auto-eco-organização: o ambiente é permanentemente formado pelos seres vivos que dele se alimentam, ele coopera constantemente com a sua organização. Ao mesmo tempo, o organismo é igualmente formado pelo ambiente, do qual depende. Ambiente e organismo são organizações em essencialmente ecodependentes.

Morin (1986, p. 159) nos recorda que “a autonomia tem, pois, que ser sempre entendida não em oposição, mas em complementaridade com a ideia de dependência”. No entanto, por um paradoxo próprio da relação ecológica, é justamente nesta dependência do organismo que se tece e se constitui sua autonomia.

Tais seres só podem construir e manter sua existência, sua autonomia, sua individualidade e sua originalidade na relação ecológica, ou seja, na e pela dependência com relação a seu ambiente; daí a ideia alpha de todo pensamento ecologizado: a independência de um ser vivo requer sua dependência com relação a seu ambiente. (MORIN, 2013, p. 253, grifo do autor).

Piaget (1973) já reconhecia três fatores necessários à manutenção do conjunto do sistema vivo: a programação hereditária, que regula os mecanismos fisiológicos de homeostase das estruturas; o meio, que entra em interações constantes com elas; e a equilíbrio ou autorregulação, que “domina o funcionamento, prossegue de uma geração à seguinte e coordena os dois fatores precedentes” (p. 136). A partir disso, o sistema vivo se estabelece como sistema aberto, que age e retroage em seu ambiente... E “a abertura é a existência” (MORIN, 2013, p. 254).

A existência é simultaneamente uma profunda imersão no ambiente e um necessário desapego relativo em relação a este. Mas ao mesmo tempo, viver autonomamente na dependência, requer um mínimo de individualidade. Biologicamente, um indivíduo é o produto de um ciclo de reprodução de uma determinada espécie. Mas este indivíduo, ao reproduzir-se, torna-se ele próprio também produtor, incorporando-se ao ciclo. Enquanto indivíduos, somos produto e produtores ao mesmo tempo. Morin (2012a) nos exorta que, da mesma forma,

[...] quando se considera o fenômeno social, são as interações entre indivíduos que produzem a sociedade; mas a sociedade, com sua cultura, suas normas, retroage sobre os indivíduos sociais dotados de uma cultura.” (p. 119).

A noção complexa de auto-eco-organização, que considera a autonomia e a dependência simultâneas do indivíduo, nos conduz à necessária reflexão sobre a noção de sujeito. Na medida em que as computações vivas assumem um caráter

indiscutivelmente (auto)cognitivo, ao permitir o reconhecimento de substâncias, de acontecimentos, de ameaças e modificação tanto do seu meio interno quando do ambiente externo, não podemos compreender esse caráter cognitivo senão como algo indissociável das atividades organizadoras vitais do ser (MORIN, 2015). Assim,

[...] se parece trivial que o conhecer seja, via computação, o produto de uma atividade do ser, é fascinante que, ao mesmo tempo, o ser seja o produto de uma atividade computante que comporta uma dimensão cognitiva. (MORIN, 2015, p. 57).

Isso significa dizer que não podemos distinguir a dimensão cognitiva da auto-eco-organização produtora do ser. Pelo contrário. Como uma extensão dessa auto-eco-organização podemos considerar o desenvolvimento cognitivo como a forma mais especializada de adaptação da espécie humana. Entretanto, não podemos simplesmente dizer que as funções que caracterizam a dimensão cognitiva são exatamente as mesmas que as grandes funções do organismo geral, pois isto significaria que o conhecimento não tem nenhuma função própria (PIAGET, 1973). Daí decorreriam duas consequências igualmente absurdas: “[...] ou a inteligência já está presente em todos os níveis da vida orgânica, ou nada introduz de novo e não contém, assim, nenhuma razão funcional de desenvolvimento” (PIAGET, 1973, p. 170).

De fato, a dimensão cognitiva constitui ao mesmo tempo a resultante dos processos de autorregulação do organismo e o mecanismo especializado que operacionaliza a regulação nas trocas organismo-meio. Funções gerais comuns aos mecanismos orgânicos e cognitivos concorrem para a manutenção da vida, na medida em que ocorre também uma especialização progressiva das funções dessa segunda classe de mecanismos (PIAGET, 1973). Mesmo que o conhecimento se diferencie, se autonomize e se especialize progressivamente, ele permanecerá indissociável da organização orgânica, da ação, do ser. Viver, existir, ser, conhecer são, no domínio da vida, inseparáveis.

A NOÇÃO DE SUJEITO

Todas as manifestações da vida revelam a existência de uma auto-organização, evidenciada na autonomia e na dependência do organismo em relação

ao seu meio. Isso, obviamente, não é privilégio da nossa espécie. Desde organismos mais primitivos, como bactérias, até organismos mais complexos como os mamíferos primatas, existe uma organização celular que evidencia um fino arranjo das macromoléculas e dos processos bioquímicos subjacentes. Essa organização é produtora e produto de interações com o meio nos mais diferentes níveis. Assim, construímos a noção de uma autonomia dependente inerente à manutenção da vida. Para chegarmos à noção de sujeito é preciso desenvolvermos a ideia de que “toda organização biológica necessita de uma dimensão cognitiva” (MORIN, 2012a, p. 119).

Piaget (1973) argumenta que o primeiro caráter da função de organização é ser uma função de conservação. Enquanto as macromoléculas e as células se decompõem, se regeneram, conservando os elementos químicos, o caráter fundamental das reações autorreguladoras é conservar o essencial de sua forma total e continuar a existir enquanto totalidade. Isso denota uma conservação que em nada tem a ver com inércia, muito antes pelo contrário: significa a existência contínua de atividades e transformações, equilíbrios e desequilíbrios e a conservação “[...] é pois a de um invariante através das covariações e das transformações” (PIAGET, 1973, p. 174).

Do princípio de auto-eco-organização decorre a ideia de que a totalidade que se conserva é uma totalidade relacional, interativa. E o segundo caráter da organização, conforme Piaget (1973) refere-se justamente à interação. Em toda organização existem processos parciais que, apesar de interdependentes, não existem fora da correlação com outros processos e mecanismos orgânicos. Logo, sem a interação ou solidariedade entre processos e mecanismos endógenos não haveria, no organismo, uma organização, mas sim uma simples reunião de elementos químicos.

Contudo, propriedades de conservação e de interação da organização biológica não são suficientes para diferenciar um sistema vivo de um sistema físico, por exemplo.

A elas se acrescenta o fato fundamental de o conteúdo da organização renovar-se incessantemente pela reconstrução (metabolismo). Isto quer dizer que a conservação do todo é a conservação de uma forma, e não de seu conteúdo, e que os processos em interação admitem uma alimentação energética proveniente de fontes exteriores ao sistema. (PIAGET, 1973, p. 175).

Isso significa que a auto-eco-organização dos organismos vivos consiste basicamente em conservar a forma de um sistema de interação através de um fluxo

de transformações, degradações, renovações, retroações incessantes com o meio e que concorrem para a manutenção da homeostase. Em outras palavras, “[...] o conhecimento contém antes de tudo uma função de organização” (PIAGET, 1973, p. 175) e esta seria uma primeira analogia fundamental com a vida.

Nossa noção de sujeito²³ ancora-se nas ideias de Morin e Piaget e assume como ponto de partida a organização biológica. “[...] a fonte de todo conhecimento encontra-se no cômputo do ser, celular, indissociável da qualidade do ser vivo e do indivíduo-sujeito” (MORIN, 2015, p. 57). A computação consiste no tratamento de estímulos, de informações, de desequilíbrios, de símbolos que permite responder e agir tanto dentro de um universo interior quanto de um universo exterior, e conhecê-los.

Para Morin (2012a) a natureza da noção de sujeito tem a ver com a natureza singular de sua computação, computação esta que cada um faz de/por/para si mesmo. O cômputo é o ato pelo qual o sujeito se constitui e se posiciona no centro de seu mundo para lidar com ele, considerá-lo, elaborar respostas e com ele interagir ativamente. Ante ao fracasso das respostas automáticas, o sujeito apela para regulações ativas. Assim, cada sujeito constrói para si conhecimento como capacidade, através de suas próprias atividades de buscar compreender e relacionar-se com o meio. Isso traz à luz a ideia de que essa construção é um processo privado, individual, pessoal, egocêntrico, mas realizado por sucessivas interações (FLACH & BECKER, 2016).

Consideramos, a partir disso, que o verdadeiro caráter da individualidade do sujeito não é apenas a sua singularidade fenomenal físico-químico e biológica, mas a sua condição egocêntrica, na medida em que ele é o único computando para si mesmo (OLIVEIRA, 2000). Ser sujeito implica situar-se no centro de seu mundo, e de tudo que isso possa significar, para, enfim, conhecer e agir.

A menor atividade viva supõe um *computo* pelo qual o indivíduo trata todos os objetos e dados em egocêntrica referência a ele mesmo. O sujeito é um ser computante que se situa, para ele, no centro do universo, que ele ocupa de forma exclusiva: *Eu, só, posso dizer eu para mim*. (OLIVEIRA, 2000, p. 323, grifo da autora).

Assim, o que decisivamente diferencia o sujeito em relação a outro indivíduo não é efetivamente a sua singularidade genética, psicológica, afetiva, mas a ocupação

²³ Reconhecemos que “sujeito” é um termo de extrema complexidade e que não comporta uma única definição. A noção que desenvolvemos leva em conta as elaborações e referenciais teóricos específicos que adotamos e não tem a menor pretensão de esgotar o sentido do termo.

do espaço egocêntrico por um Eu que unifica, interage, integra, absorve as experiências de uma vida (MORIN, 2012b). Nenhum outro indivíduo pode computar por mim e dizer Eu, em meu lugar, mas todos os outros podem computar e dizer Eu individualmente. Como cada indivíduo vive, computa para si e experimenta-se como sujeito, “[...] essa unicidade singular é a coisa humana mais universalmente partilhada. Ser sujeito faz de nós seres únicos, mas essa unicidade é o aspecto mais comum” (MORIN, 2012b, p. 75).

Enquanto indivíduos, não temos uma identidade física estável, pelo contrário, nossas células permanentemente morrem e se renovam, mas a identidade do Eu permanece: “[...] “Eu sou, eu me conheço, eu me quero”, dizia Santo Agostinho, exprimindo assim os três aspectos da existência subjetiva” (MORIN, 2015, p. 57). Aqui encontramos um princípio de identidade, a permanência de uma auto referência, independentemente das transformações decorrentes das interações que ocorrem no âmbito interno orgânico ou com meio externo.

Individualmente, cada um de nós computa para si, na tentativa de manter as funções gerais da organização biológica e é capaz de reconhecer a si mesmo como o centro ativo de interações com o meio, com o mundo. Ao mesmo tempo, todos estamos em relação uns com os outros, por meio da sociedade e da cultura na qual nos inserimos. Todos somos sujeitos que buscam reagir, conhecer, responder, viver... Viver requer ações práticas e cognitivas e enquanto sujeitos, agimos em múltiplos sentidos e, na extensão do organismo biológico e do indivíduo psicológico, mira-se o sujeito epistêmico (FLACH & BECKER, 2016).

O sujeito epistêmico é o sujeito cognitivo, que aprende, compreende, toma consciência, racionaliza, implica, é um produtor de inferências (BECKER, 2012a). Esse sujeito é um centro ativo, operativo, tomador de decisões, e que é “[...] capaz de aumentar sua capacidade extraindo das próprias ações ou operações novas possibilidades para suas dimensões ou capacidades” (BECKER, 2012a, p. 44). Ele se constitui através de sua própria ação sobre o meio a fim de satisfazer suas necessidades, suas angústias, suas dúvidas, sua curiosidade. Suas condições prévias residem na sua organização biológica, que remonta a milhões de anos de história evolutiva que se expressa em milhares de anos de civilização, sintetizada nas organizações sociais e culturais humanas (BECKER, 2012b) recentes e atuais. Inegavelmente, o sujeito epistêmico também é histórico: sua própria organização biológica contém em si a informação genética armazenada ao longo de sucessivas

gerações e simultaneamente se constitui na interação com as ações próprias da cultura na qual esse sujeito se insere.

Se por um lado as condições prévias do sujeito cognitivo residem no sujeito biológico, por outro lado também estão em suas próprias mãos, em sua capacidade de agir sobre o meio e, de retorno, agir sobre si mesmo (BECKER, 2012a). Assim, o sujeito não é sujeito apenas pela sua organização biológica e herança genética, tampouco em função daquilo que obtém, explora, recebe, extrai do meio – e como meio aqui compreendemos também a cultura, a sociedade, o mundo. “Na medida em que se apropria de suas ações, de seus mecanismos íntimos, ele constitui a sua subjetividade” (BECKER, 2012a, p. 52).

O próprio sujeito é uno e múltiplo. Sua unidade não se concebe apenas numa base genética, fisiológica, bioquímica, mas também na existência de um Eu que permite compreender a noção de si mesmo e tomar a frente de suas próprias ações e escolhas, subjetiva e afetivamente. Ao mesmo tempo, é como se esse Eu estivesse submetido a um duplo programa: um comandando “para si”, outro comandando “para nós” ou “para outros” (MORIN, 2012b). Isso explica porque muitas vezes nos dedicamos a nós mesmos, às nossas preocupações, nossos sonhos, nossas angústias. Mas também nos dedicamos a nossos pais, nossos filhos, nossos amigos, nossos amores. Logo, é preciso conceber o sujeito como aquele que dá unidade e invariância a uma gama de personagens, de sentimentos, de potencialidades.

Ao agir sobre o mundo, sobre o meio, sobre a realidade, enquanto sujeitos os transformamos e somos retroativamente por eles transformados. Essa transformação pelo meio se dá justamente pela incapacidade do sujeito de modificar o meio, de conhecê-lo plenamente. Resta-lhe, então, operar uma mudança em si mesmo, em seus próprios esquemas para melhorar sua capacidade de assimilação (BECKER, 2012a). Destarte, a Complexidade nos leva a estabelecer um ponto de vista que considera o mundo (em todas as dimensões da realidade) e reconhece o sujeito. Melhor, somos levados a colocar ambos de forma recíproca e inseparável (MORIN, 2011a): o mundo só pode aparecer como tal, isto é, uma rede de ações, de contextos e de sujeitos que se entremeiam e se tecem mutuamente. O contexto, o mundo, condicionam o sujeito que age sobre eles e também os condiciona.

Se partimos do sistema auto-eco-organizador e avançamos, de complexidade em complexidade, chegamos finalmente “[...] a um sujeito pensante que não é mais do que eu mesmo tentando pensar a relação sujeito-objeto” (MORIN, 2011a, p. 43). E

como objeto epistemologicamente concebemos tudo aquilo que não é o sujeito; ou seja, seu meio físico e social, a realidade na qual ele o está imerso (BECKER, 2012a).

[...] só existe objeto em relação a um sujeito (que observa, isola, define, pensa) e só há sujeito em relação a um meio ambiente objetivo (que lhe permite reconhecer-se, definir-se, pensar-se etc., mas também *existir*). (MORIN, 2011a, p. 41, grifo do autor).

Se, porém, inversamente, partimos desse sujeito da reflexão para encontrar seu fundamento ou ao menos sua origem, encontramos a sociedade, a história dessa sociedade na evolução da humanidade, enfim: o homem auto-eco-organizador (MORIN, 2011a). Assim, o mundo está inserido no interior do sujeito, que está inserido no interior do mundo. O sujeito reflete o mundo e isso também pode significar que o mundo reflete o sujeito. Sujeito e objeto se coproduzem num circuito recursivo permanente em que cada termo, ao mesmo tempo, é produtor/produto, causa/efeito, fim/meio do outro (MORIN, 1986).

Destarte, nosso ponto de vista supõe o mundo e reconhece o sujeito, colocando ambos de maneira recíproca e inseparável:

[...] o mundo só pode aparecer como tal, isto é, como horizonte de um ecossistema de ecossistema, horizonte da *physis*, para um sujeito pensante, último desenvolvimento da complexidade auto-organizadora. Mas tal sujeito só pode aparecer ao final de um processo físico no qual se desenvolveu, através de mil etapas, sempre condicionado por um ecossistema, tornando-se cada vez mais rico e vasto o fenômeno da auto-organização. O sujeito e o objeto aparecem assim como as duas emergências últimas inseparáveis da relação sistema auto-organizador/ecossistema. (MORIN, 2011a, p. 38-39).

Nosso sujeito é constituído e constitui um processo radicalmente histórico, cultural, social, político. Sua própria organização biológica traduz o mundo e as dimensões da realidade no qual este sujeito se situa. É um sujeito de ação, de interação, de retroação, mediado pelo mundo. É um sujeito de dimensão não-linear: o que implica a sua autonomia/dependência, sua individualidade/coletividade, sua unicidade/multiplicidade, sua biologia/história, seu permanente estado de equilíbrio/desequilíbrio. Para continuar a existir, é mister que o sujeito se mantenha em permanente (des)construção, o que não pode se dar de modo tranquilo, confortável, previsível, mas sim de modo criativo, inusitado, arriscado, sem deixar de perceber a usina complexa da vida, do mundo, da realidade. Para o sujeito, “O preço da autonomia é viver perigosamente” (DEMO 2002, p. 17).

NOSSOS SUJEITOS PROFESSORES

Se produzimos uma realidade que nos produz, igualmente, enquanto professores construímos a docência que nos constrói? Pensamos que sim! Enquanto humanos e sujeitos de ação, fazemos a docência que nos faz. Em contrapartida, a docência faz os sujeitos que a fazem. Todo contexto no qual a escola se insere – social, político, cultural –, no qual a nossa formação se insere, no qual as nossas vidas cotidianas se inserem são importantes alicerces sobre os quais se fundamenta o nosso exercício de professar.

Professamos, em sala de aula, a nossa história, as nossas dúvidas, as nossas crenças, as nossas filosofias, muito além daquilo que construímos de conhecimento no decorrer de nosso percurso acadêmico. Professamos nossa humanidade. E, também por isso, a educação é um ato de humanidade, feita por e para sujeitos humanos, 100% biológicos e 100% culturais. Semelhante a um ponto do holograma, a humanidade contém em si o todo (a espécie, a sociedade, o mundo) mesmo sendo cada indivíduo irredutivelmente singular, carregando a herança genética e ao mesmo tempo a marca indelével e a norma de toda uma cultura (MORIN, 2011b).

No nosso professar, nossa caminhada enquanto docentes segue uma linearidade, nos conduzindo a uma prática constante, regular e segura, ou experimentamos tantas docências quantas forem se desenhando nos diferentes contextos que nos são apresentados e que também nos constituem? Nossa dimensão ecológica não permite que nossas ações sigam uma linearidade na vida, tampouco nas salas de aula. Isso porque nossa prática, nossas ações não dependem unicamente de nossas intenções, mas também das condições próprias do meio onde se dão (MORIN, 2011b).

São sujeitos nossos professores! E para abarcar tudo o que ser sujeito significa, almejamos a uma compreensão complexa, multidimensional. Isso significa não reduzir ninguém a somente um dos seus traços, dos seus atos,

[...] mas tende a tomar em conjunto as diversas dimensões ou diversos aspectos da sua pessoa. Tende a inserir nos seus contextos e, nesse sentido, simultaneamente, a imaginar as fontes psíquicas e individuais dos atos e das ideias de um outro, suas fontes culturais e sociais, suas condições históricas eventualmente perturbadas e perturbadoras. Visa a captar os aspectos singulares e globais. (MORIN, 2011b, p. 113).

E por ser complexa, nossa compreensão do outro admite um resíduo inexplicável: não temos a pretensão de compreender tudo; reconhecemos que há algo de incompreensível.

Apresentação do grupo de professores pesquisado e notas metodológicas

De como não ler um poema

Há tempos me perguntaram umas meninas, numa dessas pesquisas quantos diminutivos eu empregara em meu livro “A rua dos cataventos”.

Espantadíssimo, disse-lhes que eu não sabia.

Nem tentaria saber, porque poderiam escapar-me alguns na contagem.

Que essas estatísticas aliás, só poderiam ser feitas eficientemente com o auxílio de robôs.

Não sei se as meninas sabiam ao certo o que era um robô.

Mas a professora delas, que mandara fazer as perguntas, devia ser um deles.

Mário Quintana

Assim como para Quintana a leitura de um poema é algo subjetivo, emocional, que só pode ser feita por humanos e não por robôs – que rapidamente lhe imputariam uma meticulosa análise –, a apresentação de nossos professores objetiva uma leitura essencialmente humana. Não a fazemos buscando estabelecer generalizações (“o professor ‘x’ tem tal perfil”) ou comparações (“os professores de tal grupo são mais/menos do que os de outro”), mas apresentar um pouquinho do contexto no qual cada um de nossos sujeitos está inserido e que pode nos auxiliar na construção de uma compreensão mais rica, mais solidária, mais generosa, mais atenta de suas contribuições para nossa pesquisa. No Quadro 4, procuramos organizar as informações para, a seguir, fazer algumas considerações.

As informações apresentadas foram colhidas informalmente. Apesar de haver algumas questões a serem preenchidas pelos professores (conforme ilustram os guias de discussão focal e entrevistas nos Quadros 2 e 3, respectivamente), houve alguns dados que não foram claramente por eles informados. Durante as falas, alguns não recordavam ao certo a data da sua graduação, ou acabavam por desenrolar histórias

relacionadas à sua trajetória acadêmica o que conduzia o diálogo para outras áreas da vida pessoal e que foram mais relevantes do que uma data ou local.

Quadro 2. Titulação e experiência docente do grupo de professores colaboradores.

Prof.	Gên.	Idade	Formação acadêmica (Curso/instituição/ano)	Pós-Graduação	Atividade de formação recente	Tempo de docência	CH docente semanal
B1	M	45	Licenciatura em Ciências Biológicas/UFRGS/1997	Não possui.	Não	20 anos.	16h
F1	M	26	Licenciatura em Física/PUCRS/2014	Não possui.	Não	4 anos	35h
Q1	F	24	Licenciatura em Química/PUCRS/2014	Não possui.	Sim	1 ano e 6 meses	24h
B2	F	50	Licenciatura em Ciências Biológicas/PUCRS/1992	Especialização em Imunologia Clínica/UFRGS	Sim	18 anos	15h
F2	M	33	Licenciatura em Física e Bacharelado em Física Médica/PUCRS/2011	Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais/PUCRS	Sim	6 anos	20
Q2	F	47	Licenciatura e Bacharelado em Química/PUCRS/1995	Especialização em Educação Especial/PUCRS	Sim	20 anos	36
B3	M	30	Licenciatura em Ciências Biológicas/UFRGS/2014	Mestrado em Biologia Animal/UFRGS	Não	4 anos	20h
F3	F	28	Química Industrial e Licenciatura em Química/PUCRS/2012	Não possui.	Não	4 anos	32h
Q3	F	32	Licenciatura em Química/N.I./N.I.	Doutorado/N.I.	Sim	10 anos	46h
B4	M	59	História Natural/PUCRS/N.I.	Não possui.	Não	39 anos	20h
F4	M	65	História Natural/UNISINOS/N.I.	Especialização em Administração Hospitalar/N.I.	Não	30 anos	32h
Q4	F	27	Licenciatura em Química/PUCRS/2015	Não possui.	Não	5 anos	40h

B5	M	43	Licenciatura em Ciências Biológicas/ UFRGS/ 2002	Mestrado em Biologia Animal/UFRGS	Sim	12 anos	32h
F5	F	53	Licenciatura curta em Ciências/UFRGS/1986 Graduação em Física/UFRGS/1988	Mestrado em Física/UFRGS	Não	29 anos	45h
Q5	F	54	Licenciatura Plena em Química/N.I./N.I.	Especialização em Neuro-psicopedagogia e Educação Inclusiva/N.I.	Não	34 anos	50h

Fonte: elaborado pela autora.

1. Quanto às siglas utilizadas no quadro, segue a correspondência adotada. “**Prof**”: professor; “**Gên.**”: gênero”; “**CH**”: carga horária. Como “**Atividade de formação recente**” foi considerada a participação em ações de formação oferecidas pela própria escola no último ano. “**F**”: feminino; “**M**”: masculino; “**N.I.**”: Não informado pelo professor.

2. Para manter o anonimato dos professores colaboradores, resolvemos denominá-los pela letra que corresponde ao componente curricular ministrado, respeitando a ordem alfabética. Assim, B1, F1 e Q1 foram, respectivamente, os professores de Biologia, Física e Química que atuam na mesma escola e que participaram do primeiro grupo focal.

3. Como ilustra a segunda coluna de nosso quadro, o grupo total de professores colaboradores foi composto por sete homens e oito mulheres, não havendo predominância de um gênero em detrimento de outro. No entanto, se olharmos para cada componente curricular, com exceção da Física, que está ministrada por três professores homens e por duas professoras, a Química é composta por um grupo de professoras e a Biologia, predominantemente por professores, havendo apenas uma mulher.

Considerando que a ciência é um campo predominantemente masculino, a composição de nosso grupo denota uma homogeneidade que talvez não coincida com

a realidade de um universo amostral maior. Para Chassot (2004), as raízes de uma ciência masculina se encontram na História da Ciência, que denota uma quase ausência de mulheres à frente de produções científicas ainda em meados do século XX. Ao resgatar nomes femininos com importantes contribuições ao longo da História da Ciência, o autor constrói uma interessante reflexão sobre os motivos da predominância masculina no campo científico e da necessidade de superação dessa adjetivação. Excede os limites deste texto discutir as questões de desigualdade de gênero. No entanto, deixamos a leitura de Chassot (2004) como sugestão para que se possa pensar melhor essa temática dentro da ciência.

4. As idades do grupo de professores variam entre 24 e 65 anos, o que é condizente com a realidade do magistério brasileiro, na medida em que encontramos professores que estão iniciando sua carreira e também aqueles que já estão próximos de se aposentarem.

5. Era uma condição prévia – e à qual conseguimos nos manter fiéis – que os professores fossem licenciados na área do componente curricular que atuam: professores de Biologia licenciados em Biologia; professores de Química licenciados em Química e professores de Física licenciados em Física. Destacamos, entretanto, a professora F3, habilitada em Química Industrial e Licenciatura em Química. No grupo focal ela participou como professora de Física, pois na escola leciona ambas as disciplinas: Física e Química. Não consideramos isso como algo passível de restringir sua participação, tendo em vista que a temática principal norteadora das discussões focais centrou-se em questões mais abrangentes das Ciências da Natureza, para além de especificidades de cada ciência em particular.

UFRGS e PUCRS são as principais instituições nas quais se formaram nossos professores. Possivelmente, isso seja atribuído ao fato de serem universidades já consolidadas, com corpo docente qualificado e que contam com décadas de experiência na formação de professores, além de estarem localizadas em Porto Alegre, local ao qual restringimos as escolas cujos professores colaboraram na pesquisa.

6. Quanto à pós-graduação, mais da metade dos professores possui alguma formação: quatro são especialistas, quatro são mestres e uma é doutora. Somente o

primeiro grupo é composto por professores cuja formação acadêmica inclui apenas a licenciatura. A formação de nossos docentes a nível de pós-graduação é um fator importante a ser considerado tendo em vista que cursos dessa natureza demandam um período e uma carga de estudos e leituras, o que oportuniza a qualificação da prática e a reflexão teórica dos participantes. Como consequência, nossa hipótese era que professores pós-graduados tivessem um panorama mais desenvolvido e fundamentado acerca das questões que envolvem ciência e a sua ciência específica. Isso, de fato, se verificou em alguns momentos das entrevistas e das discussões focais, nos quais explicações e argumentos melhor construídos emergiram nos grupos cujos participantes tinham tido oportunidade de dar seguimento à sua formação para além da graduação.

7. Mais da metade dos professores não participou de nenhuma formação recente, nem mesmo das formações ofertadas pela Secretaria de Educação do Estado (SEDUC) aos professores da rede estadual. Tardif (2002) argumenta que os professores muitas vezes acreditam que os saberes que servem de base para o ensino não se limitam a conteúdos e conhecimentos especializados obtidos nas universidades e produzidos pelas pesquisas na área de Educação. Se isso se estende ou não às formações pedagógicas ofertadas pela SEDUC não podemos afirmar, mas é possível que nessas formações os professores não reconheçam uma oportunidade efetiva de desenvolver estratégias e conhecimentos que qualifiquem suas práticas de maneira significativa. Sabidamente, os professores de profissão, reconhecem na sua própria prática docente e nas experiências com os pares, com os colegas de escola com os quais compartilham saberes, conselhos e práticas concretas e cotidianas da sala de aula uma fonte privilegiada de seu saber-ensinar (TARDIF, 2002).

8. O tempo de atuação docente de nossos colegas professores é bastante variado. Há professores com experiência inferior a dois anos e aqueles com décadas de salas de aula. O fator temporal é considerado por Tardif (2002) como determinante para a construção e qualificação da prática docente. Isso porque o autor considera que essa dimensão temporal decorre do fato de que a própria prática exige daqueles que a desenvolvem competências, aptidões e atitudes específicas e que só podem ser adquiridas quando em contato com essas mesmas situações. Ou seja, os

professores desenvolveriam, progressivamente, saberes gerados e baseados no seu próprio processo de trabalho, e isso exige tempo, prática, experiência...

9. A carga horária semanal em sala de aula também foi bastante variável entre os professores que fizeram parte de nossa pesquisa. Apenas três colegas trabalham mais de 40h semanais em efetiva docência. Lembramos que isso implica mais de dois turnos de trabalho por dia, podendo implicar também um maior número de alunos, de turmas e, muitas vezes, também de escolas. Não ficará difícil, nesses casos, perceber a influência disso na disposição, ânimo e grau de estresse e cansaço dos professores.

Apresentados esses dados, reiteramos nosso objetivo em incluí-los nesta tese e anteriormente às discussões dos dados produzidos nos grupos focais e nas entrevistas: reconhecer nossos professores como sujeitos: o que implica considerar sua dimensão humana, biológica, social, epistêmica, ecológica, política, cultural. Nossa compreensão abarca essas dimensões quando nos solidarizamos com o outro, quando reconhecemos no outro sentimentos e experiências que estão em nós mesmos, quando valorizamos sua trajetória de vida e todo contexto no qual se dá a sua prática docente. Logo, podemos retornar a esses dados no decorrer deste trabalho, sempre a fim de garantir que nossa compreensão abarque a maior profundidade possível da natureza complexa de nossos sujeitos professores e daquilo que eles produzem de ideias e conhecimentos.

A busca pela compreensão de nossos sujeitos requer a compreensão da complexidade da humanidade. Obviamente as informações que colhemos e que aqui apresentamos nos dão apenas uma ideia do contexto no qual nossos colegas se formaram e atuam. Porém, consideramos essas informações suficientemente caras para que possamos romper com a concepção insular que isola o ser humano de todas as suas dimensões, do mundo, da vida.

A noção de sujeito que construímos, e a partir da qual enxergamos cada um de nossos colegas professores, evidencia que a identidade humana comporta uma identidade física e biológica (MORIN, 2012b). Isso significa que enquanto espécie, o *Homo sapiens* tem uma natureza que o distingue dos demais seres vivos, que lhe confere uma unidade genética, fisiológica, cerebral própria. Enquanto *sapiens*, somos capazes de considerar racionalmente o mundo que nos cerca e nossa realidade se constitui como uma simbiose entre o que racionalmente conhecemos e o que vivemos.

O racional comporta o cálculo, a lógica, a coerência, a verificação empírica, mas não o sentimento de realidade. Este dá substância e consistência não apenas aos objetos físicos e aos seres biológicos, mas também a entidades como família, pátria, povo, partido e, claro, deuses, espíritos, ideias, as quais, dotadas de vida plena, retornam imperiosamente para dar plenitude à própria realidade. (MORIN, 2012b, p. 121).

Todavia, Morin (2012b) vai além da concepção do *homo* apenas como *sapiens*, porque ela exclui o que é *demens* – o sonho, a paixão, o amor, a raiva, o mito. Exclui também o que é *ludens* – o lúdico, a brincadeira, a festa, o prazer, a diversão – e o que é *imaginarius* – a fantasia, a crença, a fé, as ideias, os desejos.

Enquanto humanos não vivemos somente de racionalidade. Nos entregamos à arte, à poesia, à dança, aos ritos, à religião que não são meras distrações para a vida cotidiana de estudos, trabalho, família. Por isso, reiteramos que a nossa concepção de sujeito pretensiosamente almeja abarcar o *homo complexus* que emerge para dar conta da capacidade humana de produzir poesia e arte, sonho e delírio, loucura e horror, amor e ódio. Isso significa assumir a condição humana de indivíduo, sociedade e espécie, três dimensões complementares/concorrentes/antagônicas que se unem no indivíduo (a sociedade e a biologia da espécie estão nele, que igualmente está em ambas) (MORIN, 2012b).

Há muito mais a ser conhecido sobre nossos professores. Oferecemos um vislumbre. Mas há muitas incógnitas, muitos mistérios, muitos enigmas que escaparão ao nosso conhecimento. E há outros que procuraremos perscrutar mediante aquilo que nos contaram nossos colegas de profissão na ocasião das entrevistas e das discussões focais. Contudo, mesmo todo conhecimento e explicação emergentes de nossos dados são eles mesmos inexplicáveis.

O impensado e o impensável estão mais presentes do que nunca. Nosso conhecimento alcança a ignorância, mas enobrecida, pois não é mais a ignorância arrogante que se ignora, mas a ignorância nascida do conhecimento que se reconhece ignorante. (MORIN, 2012b, p. 292).

Por comportar o princípio do inacabamento, da ignorância, da incompletude do conhecimento, o pensamento complexo permite um enigmático fortalecimento do mistério humano, que está ligado ao mistério da vida que carregamos em nós, ao universo, ao cosmos...

Por fim, precisamos destacar que ao longo do processo de coleta de nossos dados todos os professores colaboradores foram de uma cordialidade e cooperação extremamente valiosas. De nossa parte, só podemos deixar registrado nosso

profundo agradecimento pela paciência, pela disponibilidade e pelo profissionalismo dos colegas.

Cabe ainda destacar que as discussões e eventuais conclusões apresentadas nesta tese – seja pelo fato de serem feitas por uma pesquisadora individualmente, seja pelo fato de partirem de um grupo relativamente pequeno de participantes (quinze professores) – assume muito mais um caráter indicativo de possibilidades de caminhos e reflexões produzidas a partir da nossa pesquisa. São, quando muito – e isso não nos parece pouca coisa em se tratando de Educação – possíveis indicativos de questões que possam ser ampliadas e melhor exploradas por um grupo maior de pesquisadores.

5 CONCEPÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DE PROFESSORES DE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLOGIA NO CONTEXTO DO ENSINO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA NO ENSINO MÉDIO

Quem explicará a explicação?

Byron

No meu fim está o meu começo.

T. S. Elliot

PARA UM COMEÇO DE CONVERSA...

Temos ensaiado um debate em defesa da maior inclusão da história e da filosofia das ciências na educação científica, conforme defendem vários autores (GIL PÉREZ, 1992; MATTHEUS, 1995; EL HANI *et al.*, 2004, GALLEGO TORRES & GALLEGO BADILLO, 2007; MOREIRA *et al.*, 2007, MEGLHIORATTI, 2009; CHINELLI *et al.*, 2010; CORRÊA *et al.*, 2010). Isso porque a história de cada uma das Ciências da Natureza emerge como necessária para compreensão dos processos internos e externos que conduziram às formulações, aceitações, transformações e mudanças de modelos, teorias e hipóteses. Desta forma, se propõe que a aprendizagem das ciências seja acompanhada por uma aprendizagem sobre as ciências, ou sobre a natureza da ciência (EL HANI *et al.*, 2004).

Para Fourez (2003), uma das causas daquilo que considera uma “crise” no ensino de Ciências reside justamente no fato de a formação da maioria dos professores estar centrada muito mais sobre o projeto de fazer deles técnicos de ciências do que de fazê-los educadores, sendo muito marginais as discussões sobre questões epistemológicas, históricas e sociais. Para o autor, nos formamos sem a preocupação de compreender e problematizar a maneira como as ciências e a tecnologia se favorecem e se constituem: confundimos frequentemente tecnologia e aplicação das ciências ou a aplicação de um sistema experimental. E, quando chegamos nas salas de aula, essa lacuna pode se revelar através da dificuldade que encontramos em fazer as transposições de conceitos-chave de nossa ciência, em

tentativas pouco eficientes de explorar a resolução de situações problemáticas e até mesmo de pensarmos a humanidade da ciência e do conhecimento.

Não raro, esquecemos que a fecundidade da ciência (e também o seu fazer) está ligada ao fato de ela ser motivada por fenômenos antagonistas, contraditórios, por mitos, por ideias, por sonhos (MORIN, 2014b). Negligenciamos a ciência enquanto produção humana e que, por isso, carrega em si a história, tentativa, o erro, a esperança, para muito além da cientificidade. Não pensamos a ciência abarcando todas as suas dimensões e aceitando toda sua provisoriedade e incerteza. Para além disso, também não assumimos que a ciência e suas produções são sempre parciais, “não por defeito, mas por constituição epistemológica (nossos argumentos não se concluem) e ontológica (a realidade não tem ponto final)” (DEMO, 2002, p. 131).

Na ausência da historicidade e da humanidade da ciência, a aproximação epistemológica dominante no ensino de Ciências é a de natureza empírico positivista, privilegiando um resumo tecnicista, o desenvolvimento de práticas experimentais de laboratório que seguem a mesma orientação e obedecem a um protocolo apresentado pelo professor, a repetição e a memorização de conteúdos esquematizado em definições e fórmulas matemáticas (quando necessário) que serão então aplicadas em exercícios de fixação (GALLEGO TORRES & GALLEGO BADILLO, 2007). Todavia, todas essas práticas comumente associadas às ciências nas salas de aula encerram múltiplos fatores, não apenas tecnológicos, e que condicionam, (re)orientam e (re)centram a atividade de pesquisa, como produção e construção social do conhecimento científico, como atividade humana que toma opções não neutras, mas carregadas de valores (PRAIA *et al.*, 2002). A ciência enquadra-se não somente num processo de saber-fazer, mas de reflexão sistemático, de criatividade e até mesmo de invenção (PRAIA *et al.*, 2002).

Para nós, a questão principal é pensar sobre e problematizar a prática científica e a ciência e a maneira como elas nos fornecem subsídios e elementos para constituirmos o seu ensino. Na Biologia, na Química e na Física, que na escola fazem parte das Ciências da Natureza, há consenso quanto à importância de um sólido conhecimento da disciplina e há igualmente um consenso quanto à importância da formação didático-pedagógica dos professores. Consideramos, da mesma forma, relevante e indispensável uma formação em epistemologia e história da ciência. Pensar apropriadamente sobre o conhecimento do conteúdo específico de sua disciplina requer que os professores ultrapassem o conhecimento de fatos ou

conceitos da área; requer que se compreenda as estruturas da sua ciência. Não basta somente definirmos aquilo que é aceito como conhecimento científico, mas precisamos também ser capazes de explicar porque dado conhecimento é considerado aceito, porque devemos aprendê-lo, como ele se relaciona com outros conhecimentos; e isso tudo tanto na nossa própria área específica quando fora dela, na teoria e na prática (MATTHEUS, 1995). Se, enquanto pesquisadores, não podemos ignorar as relações da ciência com a tecnologia, a sociedade, a política, a economia, a ética e, tampouco, as dimensões históricas e filosóficas das ciências, necessitando de bases seguras para tomada de decisões metodológicas no contexto de sua prática científica; enquanto professores necessitamos de uma abordagem igualmente ampla, multidimensional e não-linear da ciência que professamos.

Na prática, os currículos de Ciências que incluem o contexto epistemológico de produção da ciência, a sua historicidade na tentativa de engendrar uma reflexão sistemática a seu respeito, frequentemente recorrem à interdisciplinaridade e a abordagens contextuais como estratégias para ir além do conteúdo específico que compete a cada um dos componentes curriculares. Tais estratégias, na medida em que superem o mero cruzamento de disciplinas científicas escolares (Física, Química e Biologia, por exemplo), contribuirão não somente para uma compreensão mais profunda e adequada dos conhecimentos científicos, mas também para a compreensão mais rica e autêntica da própria ciência, reconhecendo sua conexão com questões éticas, culturais, políticas...

De acordo com Pombo (2013), num contexto epistemológico, a articulação entre as disciplinas passa a fazer parte do vocabulário científico enquanto um mecanismo para a transferência e a troca de conhecimentos entre as disciplinas e seus pares. Quantos projetos de pesquisas e congressos científicos não incluem profissionais com as mais diversas formações? No contexto pedagógico, a autora considera a ligação entre as questões de ensino, as práticas escolares, as construções de conhecimentos entre alunos e professores que ocupam lugar no interior do currículo escolar que incorpora a convergência de diferentes pontos de vista e conhecimentos. No contexto da Complexidade, ultrapassar a disciplinaridade é uma das formas de abertura do conhecimento, uma das possibilidades de olhar novo, capaz de romper com a linearidade e com a separação entre as formas de conhecimentos parciais e locais... Uma das formas de situar todas as informações,

estabelecendo relações mútuas e as influências recíprocas entre as partes e a totalidade (MORIN, 2000).

Nesse último contexto é que este capítulo se propõe a apresentar e discutir os dados produzidos a partir das discussões em grupos focais realizados com professores de Física, Química e Biologia a fim de investigar como eles compreendem a epistemologia e o ensino das Ciências Natureza e, a partir disso, constroem para si a epistemologia de sua disciplina específica.

Conforme detalhado Capítulo 1 “SOBRE O MÉTODO”, foram realizados cinco grupos focais com professores de Física, Química e Biologia, que atuavam na mesma escola. Em cada uma das cinco escolas, as discussões com os professores foram conduzidas de acordo com as questões previstas no Guia de Tópicos (Apêndice A). Ao conjunto de dados foi aplicada Análise de Conteúdo, cujas categorias emergentes são apresentadas na forma de quadros, para melhor organização das informações e interpretação.

ANÁLISE QUALITATIVA E DISCUSSÃO DOS GRUPOS FOCAIS

As categorias construídas na análise dos dados produzidos durante as discussões da Atividade 1 do guia de tópicos utilizado na condução dos grupos focais são apresentadas nos Quadros 3 e 4. Em todos os quadros, “N” indica o número de ocorrências nos excertos da ideia sintetizada em cada categoria.

Quadro 3. Categorias obtidas a partir da discussão sobre delimitação entre conhecimento científico e outras formas de conhecimento, proposta na Atividade 1 do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
I. O conhecimento científico difere de outras formas de conhecimento	
(I.a) porque o conhecimento científico é produzido a partir de um método.	02
(I.b) porque, na ciência, a investigação pode passar por uma fase experimental, na qual é possível chegar a leis e teorias.	03
(I.c) por sua epistemologia, metodologia, concepção de mundo e/ou finalidade.	03
II. A diferença entre outras formas de conhecimento e o conhecimento científico não é claramente definida.	
(II.a) porque existe uma relação entre o conhecimento científico e outras formas de conhecimento.	02

(II.b) porque a partir de outras formas de conhecimento podemos chegar a um conhecimento científico.	02
(II.c) o conhecimento científico é construído através de muitos anos e depois de um tempo se torna algo cotidiano.	01

As respostas dos professores à Atividade 1 nos permitiram acessar se eles estabelecem uma demarcação clara entre ciência e outras formas de conhecimento. Não houve respostas que não admitissem a existência de diferentes modos de conhecimento, ou seja, que considerassem todas as formas de conhecimento, incluindo a produzida pela ciência, como semelhantes. Entre as principais justificativas para explicar a delimitação entre ciência e outras formas de conhecimento construídas, é possível identificarmos a associação de uma metodologia, de uma epistemologia e de um processo sistemático de investigação ao conhecimento científico.

No entanto, emergiram alguns pontos interessantes nas discussões que evidenciaram que o estabelecimento dessa demarcação talvez não seja tão evidente em determinados momentos, especialmente porque as informações que acessamos através do dia-a-dia, do contato permanente com a realidade e com o mundo foram considerados um ponto de partida para as investigações no campo científico. Ao discutir os modos como a ciência muitas vezes produz inferências a partir de desafios e necessidades que se apresentam no decorrer da vida, alguns professores conduziram as discussões para a relevância dos saberes não científicos para a produção daqueles oriundos da ciência.

Essa relação entre as diferentes formas de conhecimento foi melhor explorada no decorrer da Atividade 1, cuja categorização das respostas segue no Quadro 4.

Quadro 4. Categorias obtidas a partir da discussão sobre o ensino e as formas de conhecimento, proposta na Atividade 1 do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
(a) o cotidiano do aluno pode ser ruim (pobreza, organização familiar).	01
(b) o cotidiano e suas formas de conhecimento devem estar presentes na escola, relacionados ao conhecimento científico.	05
(c) o conhecimento científico deve ser vinculado às questões sociais, econômicas, sociais, políticas.	02
(d) o conhecimento científico precisa fazer sentido para o aluno.	04
(e) outras formas de conhecimento, como as provenientes do cotidiano, ajudam a dar utilidade e significado ao conhecimento científico.	06
(f) a construção do conhecimento científico depende do interesse do aluno	03
(g) os alunos possuem outras formas de conhecimento e têm acesso a muitas informações que não são de cunho científico.	03

(h) a falta de recursos materiais, o grande número de alunos e turmas nas escolas dificulta a discussão de outras formas de conhecimento como ponto de partida para o desenvolvimento de conceitos científicos.	02
(i) a escola não se aproxima do cotidiano e de outras formas de conhecimento.	02
(j) utilizar exemplos do cotidiano como ponto de partida para a construção de conhecimentos científicos.	07
(k) termos, conceitos e definições próprios da ciência afastam e desmotivam os alunos.	03

Para nossa grata surpresa, predominantemente, os professores apontaram a importância da contextualização para o ensino, reconhecendo no cotidiano dos alunos uma fonte para problematizações que conduzem ao desenvolvimento dos conteúdos e temas associados à cada disciplina (categorias “b”, “e” e “j”). A apreensão da realidade trazida pelos alunos na forma de outros tipos de conhecimento que não os científicos é reconhecidamente um promotor da aprendizagem, na medida em que é mediante a nossa ação enquanto sujeitos sobre o mundo que se dá a invenção e a construção do conhecimento, no seu sentido mais amplo. A contextualização, nesse sentido, é um recurso para o estabelecimento de aprendizagens significativas, mas também para o estabelecimento de relações entre as diferentes formas de conhecimento e, no âmbito científico, entre as diferentes áreas da ciência.

Na sequência, a Atividade 2 propôs discutir os mecanismos através dos quais o conhecimento científico é produzido, a partir de dois contextos: o da descoberta e o da invenção. Nesse ponto da discussão os professores foram encorajados a negociarem uma resposta que poderia contemplar um dos dois contextos ou a associação entre eles. As respostas categorizadas são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5. Categorias obtidas a partir da Atividade 2 do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
I. Os cientistas descobrem as teorias científicas.	
(I.a) porque a teoria científica é baseada em fatos experimentais.	03
(I.a.1) a partir dos dados experimentais os cientistas constroem suas ideias e teorias.	01
(I.a.2) a realização de experimentos conduz a novas descobertas (ex. ureia descoberta a partir da amônia).	01
(I.b) porque alguns cientistas podem tropeçar numa teoria por acaso, descobrindo-a a partir de fatos que eles já conhecem.	02
(I.b.1) existe uma tentativa de propor uma teoria que explica o que se observa.	02
(I.b.2) ao estudar determinado objeto, os cientistas acessam outros objetos ou informações que não estavam previstas (ex. descoberta da penicilina)	02
II. Os cientistas inventam as teorias científicas.	
(II.a) porque uma teoria é uma interpretação de fatos experimentais que os cientistas descobrem.	07
(II.a.1) porque se criam inclusive ciências novas para explicar o desconhecido	01
(II.a.2) a experimentação é o ponto de partida para as formulações de teorias.	02

(II.a.3) mesmo havendo dados concretos, é preciso criar as explicações e interpretações	04
(II.b) porque as invenções (teorias, conhecimentos) vêm da mente – nós as criamos.	02
(II.b.1) a partir do que se observa se propõe uma explicação.	01
(II.b.2) através da experimentação as explicações criadas podem ser avaliadas.	01
(II.b.3) por se tratar de uma formulação humana	01

Os professores atribuíram grande relevância à experimentação na construção das explicações pela ciência, seja quando conceberam a construção de teorias como descobertas ou como invenções. Nas discussões e negociações das respostas predominou nos grupos uma visão instrumental (categorias “II.a” e “I.a” e suas respectivas subcategorias), que concebe o conhecimento científico como uma construção humana a partir do acúmulo de observações e de dados experimentais.

Apesar de a maioria dos professores considerarem que as teorias e leis são inventadas pelos cientistas, ou seja, são criações, construções propostas, em vários momentos as discussões oscilaram entre um contexto de invenção e de descoberta. A dificuldade de os professores chegarem a uma resposta que representasse um consenso se deu especialmente pela exemplificação de descobertas e invenções concretas, como por exemplo, a penicilina, citada em todos os grupos focais. Ao focarem no episódio ocorrido com Alexandre Fleming²⁴, a ideia da descoberta tomou força, visto que a falta de atenção do pesquisador no manipular seus experimentos conduziu a um fato novo: a inibição do crescimento das colônias de bactérias quando ocorria a contaminação por fungos, cujo efeito antibiótico foi posteriormente relatado e estudado.

Isso nos remete a uma perspectiva epistemológica quase sempre implícita e algumas vezes explícita no currículo e no ensino de ciências: a empirista-indutivista. Segundo os empiristas clássicos, a observação tem uma relevância crucial para a ciência, servindo como ponto de partida para obtenção de dados exteriores que permitam a descrição do mundo real (PRAIA *et al.*; 2002). Nessa perspectiva, é a observação de fatos e a proposição de experimentos que conferem significado às ideias e que conduzem ao conhecimento objetivo da realidade. Quando ocasionais, como

²⁴ Alexandre Fleming, médico e bacteriologista inglês, em 1928, dedicou-se ao estudo de bactérias da espécie *Staphylococcus aureus*, responsável pelos abscessos em feridas abertas provocadas por armas de fogo durante a Primeira Guerra Mundial. Em um período de férias, Fleming deixou as culturas de bactérias sem supervisão e, ao retornar, encontrou uma amostra destampada e contaminada com mofo. Na placa contaminada, Fleming observou que as colônias de *S. aureus* estavam inativas e associou essa inibição à presença do fungo *Penicillium*. Ainda que acidentalmente, o episódio conduziu à criação do primeiro antibiótico da história da humanidade, a penicilina.

no exemplo citado da penicilina, tais observações conduzem às descobertas científicas.

Tanto a Atividade 1 quanto a Atividade 2 foram propostas para promover uma discussão inicial e mais ampla sobre os tipos de conhecimento produzidos e sobre a natureza da ciência. Os tópicos seguintes (Questões 1 e 2 do guia), considerados tópicos de transição, abordaram a provisoriedade do conhecimento científico ao conduzirem as discussões mediante exemplos próprios das Ciências da Natureza. As categorias obtidas a partir das discussões promovidas nas Questões 1 e 2 são apresentadas nos Quadros 6, 7 e 8.

Quadro 6. Categorias obtidas a partir da Questão 1 dos tópicos de transição do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
Qual o grau de certeza que os cientistas têm acerca da estrutura do átomo?	
(a) Há muito pouca certeza. Mas o modelo proposto é aceitável porque é baseado em evidências experimentais incorporadas às teorias ao longo da evolução da ciência e da tecnologia.	03
(b) A base para a construção da representação do átomo foi a realização de experimentos, mas não se sabe o grau de certeza que os cientistas têm a este respeito.	01
(c) O grau de certeza vai até onde os experimentos comprovaram a teoria.	01
(d) O grau de certeza acerca da estrutura do átomo é pequeno, pois as explicações dos livros de ciência são apenas modelos propostos para ilustrar.	01
(e) O grau de certeza é considerável, pois se trata de um modelo confiável, porque derivou de sucessivas observações e experimentações na medida em que a tecnologia possibilitou que novas informações pudessem ser incorporadas.	04
(f) Os cientistas têm um grau relativamente alto de certeza sobre o modelo de átomo atualmente aceito, podendo considerá-lo o modelo real de átomo e baseando-se em muitos experimentos e observações.	01
(g) O grau de certeza dos cientistas sobre o modelo de átomo é alto, uma vez que diversos experimentos foram realizados e, a partir dos resultados, várias foram as interpretações, que evoluíram até que se chegasse à forma atual.	04
(h) O grau de certeza é alto, porém é possível que novos experimentos e evidências possam mudar um pouco a conformação do modelo atual, que nunca será completo.	04

As categorias “e”, “g” e “h” evidenciam uma maior certeza quanto ao modelo proposto para o átomo, especialmente pela sua proposição ser suportada por sucessivas evidências experimentais, o que foi considerado por grande parte dos professores como algo que imputa confiabilidade ao modelo. O papel da experiência surge como uma forma de confirmação do modelo nas discussões entre os professores. Pouco se falou acerca das condições e das teorias que estavam por trás desses experimentos que se acumularam ao longo do tempo até que produzissem dados para a produção de um modelo atômico melhor aceito.

Numa perspectiva empirista, a experiência surge-nos quase sempre como uma simples manipulação de variáveis, deduzindo leis e teorias a partir dela própria ou de sua sistemática reprodução (PRAIA *et al.*, 2002). Nessa perspectiva, a experimentação torna-se determinante na obtenção de um conjunto de dados e um dos meios de garantir a confiabilidade de uma teoria, fundamentando, assim, todo o conhecimento. Para além da experimentação, espera-se que se tome em consideração os processos de sua obtenção, sua problematização, conduzindo a novos questionamentos e interpretações e também novas hipóteses (PRAIA *et al.*, 2002). Discussões sobre esses processos foram muito marginais entre os professores, que acabaram por focar sua atenção na experimentação como fonte de novas evidências que justificariam ou não a certeza quanto à estrutura do modelo atômico.

Associada à confiabilidade do modelo, também emergiu nas discussões o caráter de transitoriedade da ciência, na medida em que os professores trouxeram elementos da história da ciência que ilustraram o quanto o modelo foi se transformando em face ao surgimento de novas evidências experimentais. O fato de haver constantes e sucessivas pesquisas científicas produzindo novos conhecimentos e informações, aparece em maior evidência nas respostas incluídas na categoria “h” que foi justamente associada a uma maior incerteza do modelo atômico.

A questão 2 trata de dois aspectos que foram categorizados separadamente. No caso da pergunta sobre a existência de mudanças teóricas na ciência todas as respostas admitiram que tais mudanças ocorrem e a explicaram com base na incorporação de novas informações e teorias (Quadro 7).

Quadro 7. Categorias obtidas na primeira parte da Questão 2 dos tópicos de transição do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
Questão 2 (primeira parte): Após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica (por exemplo, a teoria atômica, a teoria da evolução), a teoria pode transformar-se?	
I. Teorias podem transformar-se.	
(I.a) Teorias podem ser modificadas a partir de novas descobertas ou evidências, frequentemente decorrentes de novos avanços tecnológicos.	07
(I.b) Teorias podem mudar ou ser derrubadas graças ao surgimento de novas teorias que as contestem.	02
(I.c) Teorias mudam quando surgem novos fatos ou conceitos, que pode ser resultado do avanço tecnológico.	03
(I.d) Teorias podem ser modificadas quando criamos novas tecnologias para tentar responder novas perguntas.	02

(l.e) Teorias podem ser modificadas quando aspectos da teoria que não haviam sido ainda completamente compreendidos o são.	02
(l.f) As teorias mudam porque as pessoas mudam e a ciência é uma produção humana.	01
(l.g) As teorias mudam quando não conseguem mais dar conta de explicar informações novas.	01
(l.h) As teorias mudam, porque o conhecimento que já existe serve de base para novas pesquisas e descobertas.	01

As categorias que abrangem a maior quantidade das respostas dos professores, “l.a” e “l.c” remontam novamente à discussão acerca da importância da produção de novos dados especialmente a partir experimentação como principal fator da re/des/construção das teorias científicas, pouco considerando a possibilidade de que esta mudança decorra do embate entre teorias (categoria “l.b”). O papel central dado à evidência empírica na mudança teórica sugere que os professores não atribuíam importância suficiente à dependência teórica da observação e, assim, ao papel das teorias na obtenção e interpretação de evidências.

Também emerge nas discussões a ideia de evolução da ciência como algo cumulativo. Exemplos sobre a história dos modelos atômicos serviram de base para as discussões em todos os grupos focais, evidenciando o papel que novas descobertas e informações acrescidas ao longo do tempo tiveram fundamental importância para que produzisse um modelo confiável e aceitável, de acordo com os professores.

Chama-nos a atenção a observação feita pela professora Q4: “as teorias e a ciência mudam porque as pessoas mudam!”, que originou a categoria “l.f”. Ao introduzir o aspecto da ciência como uma construção humana na discussão do grupo 4, os colegas B4 e F4 trouxeram a evolução tecnológica como um fator igualmente relevante para a produção de novos conhecimentos científicos a partir daquilo que produzimos de novidade e que se presta para refinar e confrontar conhecimentos anteriormente tidos como válidos, o que foi contemplado nas categorias “l.c” e “l.d”.

Anteriormente à análise dos dados, havíamos previsto a inclusão de uma categoria II, que contemplasse respostas que indicassem que as teorias científicas não se transformam. Essa categoria foi descartada devido à não ocorrência de respostas que justificassem a sua manutenção.

Na continuidade da Questão 2, a pergunta sobre as razões pelas quais vale a pena aprender as teorias científicas, mesmo sendo estas mutáveis teve suas respostas categorizadas conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8. Categorias obtidas na segunda parte da Questão 2 dos tópicos de transição do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
Questão 2 (segunda parte): Explique por que nós nos preocupamos em aprender teorias científicas, considerando que as teorias que aprendemos poderão mudar.	
(a) Aprendemos teorias porque seu estudo pode levar ao avanço do conhecimento científico e das próprias teorias.	01
(b) Aprendemos teorias científicas porque estas consistem em nosso conhecimento atual sobre um determinado assunto e não uma verdade absoluta.	03
(c) Aprendemos teorias científicas porque elas nos oferecem a possibilidade de interpretar o conhecimento já adquirido.	01
(d) Estudamos teorias porque elas aumentam nossa compreensão do mundo.	03
(e) Estudamos teorias porque elas aumentam nossa compreensão do mundo e seu estudo pode levar ao avanço do conhecimento científico e das próprias teorias.	01
(f) Aprendemos as teorias para poder aplicá-las em situações do cotidiano.	02
(g) Aprendemos porque elas ilustram que não existe uma única resposta ou um conhecimento acabado, existe um processo de compreensão do mundo e da realidade.	03
(h) Aprendemos para ter uma visão crítica do mundo e da realidade que constantemente mudam.	04
(i) Estudamos as teorias para desconstruir crenças e mitos.	02

A maioria de nossos colega professores justificou a necessidade de aprendermos as teorias mesmo em face de sua transformação pelo fato de tanto as mudanças quanto os conhecimentos que as teorias encerram contribuir para que se tenha uma visão crítica de uma realidade que também é mutável (categoria “h”) e que está sujeita a um contínuo processo de tornar-se conhecida por nós humanos. O inacabamento, a incerteza e a degradabilidade do conhecimento científico também se fizeram marcantes nas discussões dos grupos, originando as categorias “g” e “b”. O estudo das teorias também esteve associado à compreensão do mundo (categoria “d”) e das situações do cotidiano, especialmente no caso de resolver problemas do dia a dia (categoria “f”).

A valorização do conhecimento científico enquanto forma de desconstruir ou problematizar o conhecimento mítico e religioso apareceu fortemente nas discussões do grupo focal 5, originando a categoria “i”. As categorias “a”, “c” e “e” foram construídas a partir de respostas mais individuais e que não produziram grande discussão dentro dos grupos de professores.

Na sequência das discussões nos grupos focais foram apresentadas aos participantes questões mais direcionadas para a área específica de cada uma das componentes das Ciências da Natureza: Biologia, Física e Química. Tais questões

visaram ao aprofundamento de tópicos como a autonomia dessas ciências, a historicidade que conduziu à delimitação de cada objeto de estudo que as constitui e às possibilidades de interface e sobreposição das mesmas no âmbito do ensino.

No quadro 9 são apresentadas as categorias emergentes a partir das discussões construídas coletivamente sobre a especificidade e a autonomia de cada uma das ciências componentes das Ciências da Natureza.

Quadro 9. Categorias obtidas a partir da pergunta “O que é específico da física, da química e da biologia e que evidencia a autonomia de cada uma dessas ciências?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
I. Biologia	
(I.a) Compreensão da ciência da vida.	01
(I.b) Estuda os seres vivos e a vida, incluído seus processos emergentes, como seleção natural e evolução.	01
(I.c) Não define claramente o objeto de estudo da Biologia.	03
II. Física	
(II.a) Mensuração matemática dos fenômenos naturais.	01
(II.b) Estuda os fenômenos naturais.	02
(II.c) Estuda o comportamento da matéria e dos fenômenos.	02
III. Química	
(III.a) Estuda a estrutura da matéria.	02
(III.b) Estuda as transformações das substâncias.	01
(III.c) Estuda a matérias e suas transformações.	01
(III.d) Estudo da estrutura, das transformações e interações da matéria.	01
(III.e) Estuda as interações entre os átomos.	01
IV. A delimitação entre as três ciências não é clara	
(IV.a) São citados exemplos de a fim de identificar o que caracterizaria cada ciência, mas a distinção entre elas não é clara.	04
(IV.b) Dependendo do nível de explicação (microscópico ou macroscópico), evidencia-se uma ciência ou outra.	01

A tentativa de delimitar o objeto de estudo próprio de cada ciência que compõe as Ciências da Natureza promoveu discussões bastante interessantes. Em muitos momentos, essa delimitação não foi clara, em outros foi bastante simplificada. Destacamos que, em todos os grupos, os professores tentaram estabelecer a especificidade de cada ciência de maneira dialogada, discutindo cada uma delas coletivamente, não havendo contribuições somente do professor de Física na hora de discutir sobre a autonomia dessa ciência, por exemplo, mas sim uma negociação entre todo o grupo.

No que se refere à Biologia, em particular, houve certa dificuldade em estabelecer claramente seu o objeto de estudo, conforme ilustra a fala de B5: “[...] a Biologia é parte da ciência que estuda dentro dessas, da matéria, as substâncias ou

estruturas que tem a capacidade, tem uma certa autonomia de se auto replicarem de crescerem, de serem independentes então usando essa lógica que é o que a gente chama vida né” [sic]. Respostas desse tipo foram reunidas na categoria “I.c”.

A Física e a Química foram melhor definidas a partir do uso de exemplos e episódios da história da ciência contados pelos professores durante as discussões. No entanto, tais narrativas não contribuíram para a definição do objeto de estudo de cada uma dessas ciências, infelizmente. As categorias II e III e suas respectivas subcategorias ilustram que tais definições foram bastante simplórias.

Chamamos a atenção para a categoria “IV.a” que foi bastante representativa e denota a dificuldade em estabelecer uma distinção entre as ciências que constituem as Ciências da Natureza. Frente à dificuldade em definir a especificidade de cada uma delas, foram empregados exemplos por diferentes professores: “B3: eu acho que quando tu começa a trabalhar num nível assim de alterar um núcleo tu tá muito na parte da Física e quando tu tá brincando com elétrons e a forma que ele estão interagindo entre outras substâncias assim tu tá meio na Química assim, mas é uma coisa totalmente arbitrária assim porque acho que Química e Física acabam sendo muito semelhantes assim por toda a parte de ser fortemente experimental assim a construção das coisas, do conhecimento dessas áreas aí... mas é também não muito claro assim o limite entre as áreas, tanto que tem biofísica, bioquímica” [sic].

No grupo focal 4, os exemplos apresentados para cada uma das três ciências também não foram suficientes para estabelecer claramente o objeto de estudo de cada uma delas:

“F4: é que a Física tá relacionada com que? Com o movimento, principalmente movimento, com eletricidade, humm... eletromagnetismo, tá me entendendo? Agora, por exemplo, a Química, a Química se relaciona com o que? Com substâncias, com reações, com elementos químicos que se juntam e formam vários compostos, agora na Biologia, a Biologia estuda o ser humano, os seres vivos no caso, tanto animal, vegetal, né e mais evoluído o homem, eu vejo assim..

Q4: humm. eu sempre digo pra eles: a Química vocês não voltam a ser o que era antes a menos que vocês mudaram, mudaram, agora a Física não dai eu digo: gente, cozinhar um ovo, tá sora o ovo vai deixar de ser ovo? Não, então aí tu tem física com química? Ah tem físico porque o físico não alterou né, eu disse exatamente, agora se eu queimar um papel? Ai tu passa a ter uma coisa química porque ai tu começa a

mexer na matéria, e a Biologia pra mim também é sempre aquela parte da vida, num geral, nunca foi o meu forte mas pra mim Biologia é vida” [sic].

A categoria “IV.b” emergiu a partir da discussão entre B1 e Q1, na qual o objeto de estudo de cada ciência seria evidenciado a partir do nível de compreensão “B1: Seria um micro... eu não consigo desvincular o micro do macro, entendeu? Pra mim, é uma coisa bastante discutível, né, aquela história do gene egoísta, né... a gente trabalha, a gente tá aqui fazendo essa entrevista, tu tá aqui fazendo essa entrevista aqui, na verdade, porque o teu DNA precisa disso. Entendeu? O que que é o DNA? São pontes de hidrogênio que existem entre bases nitrogenadas...”

Q1: Exato.

B1: Então existe uma força ali que seria física, né, intra-molecular, mas que determina o nosso comportamento... Então, eu não consigo desvincular essa coisa micro do macro...” [sic].

Na sequência das discussões, surgiram questões acerca da relação estabelecida entre a Biologia, a Física e a Química tendo em vista a existência de uma hierarquia entre elas ou não (Quadro 10).

Quadro 10. Categorias obtidas a partir da pergunta “É possível estabelecer uma hierarquia entre essas disciplinas? Alguma ciência que pudesse servir de fundamento para as demais ou não?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
I. Existe uma hierarquia entre a Biologia, a Física e a Química	
(I.a) Porque a Física é uma ciência básica e que serviu de modelo para as demais.	01
(I.b) Porque a Física é historicamente mais antiga e, por isso, mais solidamente estabelecida.	01
II. Não existe uma hierarquia entre a Biologia, a Física e a Química	
(II.a) Porque segregar o conhecimento é uma dificuldade da ciência.	02
(II.b) Porque as três ciências são complementares.	02
(II.c) Apesar de sermos formados com uma visão compartimentalizada da nossa ciência em particular, ela se conecta com as demais, igualmente importantes.	01
(II.d) Porque cada ciência tem a sua aplicação e a sua importância.	01
(II.e) Não existe uma hierarquia, mas historicamente a Física serviu de base para o desenvolvimento de outras ciências.	03

Discussões argumentando em favor da existência de uma hierarquia entre as três ciências concederam à Física lugar de destaque especialmente por se tratar de uma ciência mais antiga e que teria servido de base para o surgimento das demais, conforme ilustram as categorias “I.a” e “I.b”. A Física como ciência básica é justificada pelos professores do grupo focal 5 e originou a categoria “I.a”:

“F5: “[...] ela é a base, ela é mais dura, eu entendo assim, tá, eu imagino assim óh, a Química tá, trabalha com os elementos que vão juntar esses tijolinhos e a Biologia é o que vai dar a vida pra esses, entendeu, a Biologia é a ciência mais complexa que tem.

B5: seguindo essa linha da F5 assim óh, aí eu vejo seguindo mais ou menos a tua ideia assim, a Física é a ciência que estuda as leis universais e ... do que as coisas são feitas

Moderador: tu também acha que é uma base para as demais?

B5: sim, sim, é digamos a ciência base, tá porque são os princípios que regem o universo e as coisas, e aí os tipos de coisas diferentes, como essas coisas são feitas quem estuda é a Química” [sic].

Para Nicolescu (1999), na visão clássica de mundo, a articulação entre as diferentes ciências, que originaram as diferentes disciplinas, era considerada piramidal: sendo a Física colocada com a base da pirâmide. Na perspectiva da Complexidade, porém, esta pirâmide é pulverizada, provocando um verdadeiro “*big-bang* disciplinar” (NICOLESCU, 1999, p. 43). Para o autor, ao considerarmos uma disciplina como campo fundamental, como a pedra de toque de todas as outras disciplinas, implicitamente alarga-se um campo a todo o conhecimento humano.

A categoria II incluiu a maioria das respostas que defendiam a não existência de uma relação hierárquica entre Biologia, Física e Química. Destacamos a categoria “II.e” que reconhece o estabelecimento da Física como uma ciência básica mas sem colocá-la em uma posição de destaque em relação às demais: “B3: Eu acho que como modelo de ciência assim, durante toda história a Física tava né, ta tipo, tanto que se tu for ver os caras que estudam assim o que é ciência por muito tempo eles focavam em estudos da história ou de como eram desenvolvidas as leis em Física né, daí a partir disso eles viram que outras áreas não faziam isso e falavam: isso não é ciência e tal... [...] baseado no conceito da Física, porque a Física era vista como conceito ideal assim, daí pra Química é muito fácil fazer isso né, porque é muito próximo assim mas daí tu vai ver as coisas de Biologia assim, questão mais história tal, tu vai até discutir se é ou não ciência assim, problema de demarcação mas isso vai pra todas as áreas né daí depois, porque uma área acaba embasando a outra.” [sic].

A partir da tentativa de estabelecer os objetos de estudo próprios de cada ciência e que concorrem para manutenção da sua autonomia, também interessava-nos investigar as articulações entre as mesmas na medida em que, dos nossos

próprios dados emergiram áreas de sobreposição entre elas. Seguimos as discussões em busca de elos, de conexões que possam existir entre a Biologia, a Física e a Química e que justifiquem a sua inclusão nas Ciências da Natureza (Quadro 10).

Quadro 11. Categorias obtidas a partir da pergunta “O que seria comum às ciências físicas, químicas e biológicas que justificasse a sua articulação nas Ciências da Natureza?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
(a) Não houve uma resposta clara.	01
(b) A existência de processos e fenômenos emergentes na natureza.	01
(c) A Física é uma ciência mais independente em relação à Biologia e Química, entre as quais há uma maior sobreposição.	01
(d) São ciências complementares.	02
(e) São ciências complementares, mas que guardam suas respectivas especificidades.	02

Se quando questionados sobre os limites de cada ciência nossos colegas professores encontraram certa dificuldade em estabelecer o que a sua ciência em particular abarca como objeto de investigação, quando propomos que se discutisse os possíveis pontos de sobreposição e de articulação dentro das Ciências da Natureza, igualmente nossos colegas apresentaram respostas ou pouco claras ou pouco desenvolvidas.

A categoria “b” se constituiu a partir da fala de B3 na discussão com seus colegas: “[...] também não só assim, por exemplo tem a Biologia, mas nem sempre é voltada para perspectiva dos seres vivos assim, tu pode tá interessado como era a Química, a evolução química antes de dar origem ao primeiro ser vivo. [...] e daí tu vai ter que entender como moléculas vão reagir como que elas vão conseguir se organizar em estruturas mais complexas em que tipo de ambiente ia acontecer isso aí” [*sic*].

A dificuldade dos professores em integrar determinados conteúdos em sala de aula originou a categoria “c”, pois consideram mais fácil a articulação entre conceitos e temas da Biologia e da Química entre si, do que entre esses componentes curriculares e a Física. A complementaridade entre as três ciências foi evidenciada através de exemplos e de temas específicos que estão apresentados no Quadro 13. Destacamos a categoria “e”, que ressalta a complementaridade entre Biologia, Física e Química sem perder de vista a existência de temas e conceitos específicos de cada uma delas:

“B5: [...] então assim ah, as ciências não estão desconectadas, não, não estão elas estão intimamente conectadas, mas elas têm as suas peculiaridades e eu acho um

erro elas serem fusionadas, se a gente compartimentou elas pra poder se aprofundar mais em cada uma delas, e cada uma delas tem a sua...

Q5: Suas particularidades...

B5: Particularidades, porque vamo lá no século dezessete, dezoito, não tinha biólogo, físico e químico, o cara era cientista, não é?! E com o passar dos anos, conforme foi se adquirindo mais conhecimento nas áreas é que foram se dividindo essas áreas, né?" [sic].

Após o estabelecimento das possíveis articulações entre as componentes das Ciências da Natureza, os professores foram questionados sobre as potencialidades e as dificuldades em integrar as disciplinas (Quadro 12).

Quadro 12. Categorias obtidas a partir da pergunta “No dia-a-dia da sala de aula, em que aspectos integração das disciplinas na área das Ciências da Natureza contribui para o ensino? Em que aspectos ela o dificulta?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
(a) Contribui porque todo conhecimento está interligado, desde o nível micro (Química) até o nível mais macro (Biologia, Física).	02
(b) Contribui para ilustrar as aulas e as explicações a partir de exemplos práticos.	03
(c) Contribui muito e o ideal seriam mais oportunidades para os professores desenvolverem projetos juntos.	02
(d) Contribui, porém durante nossa formação não somos didaticamente preparados para fazer a integração entre os conteúdos.	03
(e) A integração é dificultada pela falta de preparo dos professores, de planejamento coletivo e de reuniões entre colegas da área.	02
(f) A integração dificulta o ensino porque a falta de estrutura das escolas limita esse tipo de abordagem.	02
(g) A integração dificulta o ensino porque os livros didáticos escolares são muito específicos de cada disciplina.	02
(h) A integração promove o ensino superficial dos conteúdos.	02

As respostas apresentadas pelos professores, em sua maioria, evidenciam que a integração das disciplinas dentro das Ciências da Natureza contribui para o ensino (categorias “a” a “d”), muito embora esbarre em questões de infraestrutura e preparo dos professores (categorias “e” e “f”). A vantagem de utilizar exemplos na integração favorece o caráter da ciência para além dos limites de cada disciplina, conforme apontado na discussão do grupo focal 3, que originou a categoria “b”.

“F3: Não, eu acho que fica mais fácil, porque aí eles conseguem entender que o conhecimento ele é entendeu, da Química da Física e da Biologia, precisa das três para explicar.

B3: Uhum...

F3: Né? Porque não tem como eu repartir e colocar numa caixinha e dizer: não, isso aqui só a Química explica..." [sic].

Destacamos a categoria "c", constituída pela discussão construída no grupo focal 4, no qual os professores manifestaram a necessidade e o interesse em desenvolver projetos e práticas integradoras:

"Q4: Eu acho isso muito legal da Química que eu consigo... a Química se encaixa muito mais fácil nas outras.

Moderador: e essa integração tu acha que facilita o ensino também?

F4: Muito mais!

Q4: É! Muito! Lá na outra escola, a gente tem os projetos de área e aí eu sempre deixo o professor de Bio ou de Física decidir porque daí eu olho e assim tá o que que vocês querem? Porque eu consigo entrar nas duas áreas" [sic].

A categoria "g" sugere, de certa forma, o despreparo dos professores no momento de operacionalizar práticas integradoras por não encontrarem recursos e estratégias adequados a tais práticas nos livros didáticos utilizados no preparo e desenvolvimento das aulas.

Ao considerar a integração como uma estratégia que permite uma abordagem mais ampla e global, alguns professores consideraram-na como entrave para o ensino de tópicos mais específicos de cada componente curricular. Ao ampliarem-se a abordagem e os contextos, o ensino das Ciências da Natureza se tornaria superficial (categoria "h"):

"F5: [...] se um professor tem que dar conta das Ciências da Natureza, tá, vamos supor vou trabalhar durante todo o tempo Ciências da Natureza, ah, ele nunca vai entrar nos detalhes, aí fica aquela ciência de oitava série, ciência de nono ano...

B5: esse é um problema.

F5: ai fica no raso!" [sic].

Para Fourez (2003), quando se está interessado na alfabetização científica dos estudantes, rapidamente se é levado a empregar estratégias de ensino que envolvam a construção de competências mais amplas e gerais, tais como "saber construir uma representação de um modelo que explique uma determinada situação concreta". Assim, quando vale a pena aprofundarmos uma determinada questão ou tema e quando é melhor se contentar, ao menos provisoriamente, com uma representação mais simples e abrangente? Quando vale a pena desenvolvermos junto aos nossos

alunos conceitos específicos e bem definidos de um determinado campo do conhecimento e quando é suficiente que eles compreendam os processos que abarcam um contexto mais amplo da realidade que se busca conhecer?

A compreensão de tópicos mais específicos de cada uma das áreas do conhecimento como ponto de partida e condição necessária para que, então, se possa pensar o conhecimento dentro de um contexto mais abrangente vai ao encontro daquilo que Fourez (2003) considera quase como uma unanimidade entre os especialistas em ciências da educação: competências mais globais não são aprendidas de um modo geral, mas sim partindo de casos e contextos particulares, modelando-as e transferindo-as em seguida a uma gama mais extensa de situações. Ficaria, nesse caso, a integração reduzida a um papel secundário? Ou haveria situações nas quais se pudesse partir dela para, então, incorporar o conhecimento específico de cada ciência aprendida na escola?

Com relação aos conteúdos que favorecem a compreensão mediante estratégias de ensino mais integradoras entre as três ciências que constituem as Ciências da Natureza e aqueles que são melhor compreendidos dentro das especificidades de cada ciência, as respostas dos professores são apresentadas nos Quadros 13 e 14, respectivamente.

Quadro 13. Categorias obtidas a partir da pergunta “Existiriam alguns temas/conceitos que fazem mais sentido de serem compreendidos através de uma visão mais ampla das Ciências da Natureza? Por exemplo?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
(a) Biologia molecular.	01
(b) Nutrição e alimentos.	03
(c) Meio ambiente e ecologia.	03
(d) Genética.	02
(e) Moléculas orgânicas.	02
(f) Energia.	02
(g) Fotossíntese.	02
(h) Metabolismo energético da célula.	01
(i) Termometria.	01

Todos os temas citados foram acompanhados de exemplos de atividades que foram desenvolvidas pelos professores em conjunto com um ou mais colegas da área das Ciências da Natureza. Em alguns grupos, a Biologia foi reconhecida como o componente curricular mais versátil e mais fácil de ser articulado com a Física e a

Química, conforme ilustra a fala de B3: “É mais difícil associar assim, mas pra Biologia é muito mais fácil... assim associar, tu acaba explicando tudo né, muita coisa com base em Química e Física, até, sei lá, falar de ecologia, cadeia alimentar, tu vai falar de fluxo de energia, tu fala em ciclo da matéria então, tu tá falando o tempo todo usando conceitos físicos e químicos assim” [sic].

Quadro 14. Categorias obtidas a partir da pergunta “Que temas/conceitos fazem mais sentido serem compreendidos dentro da especificidade de cada ciência?”, proposta nos tópicos específicos do guia de tópicos para as discussões nos grupos focais.

Categorias	N
(a) Os professores não souberam apontar, justificando que todo conhecimento está interligado.	04
(b) Sistemática e classificação dos seres vivos (Biologia).	01
(c) Evolução (Biologia).	01
(d) Estequiometria (Química).	01
(e) Tabela periódica (Química).	02
(f) Dinâmica e cinemática (Física).	04
(g) Resistores (Física).	01
(h) Eletromagnetismo (Física).	01

Diferentes temas foram citados como sendo específicos de cada componente curricular e, por isso, difíceis de serem interligados com conhecimentos de outros componentes. Porém, em alguns grupos os professores tiveram mais dificuldade em definir esses temas, especialmente em relação à Química, originando a categoria “a”:

“Q4: [...] porque quando eu falar lá nos modelos atômicos, por exemplo, eu tô falando em radiação, então tô falando em Física, a radiação vai afetar o meu organismo... eu tô falando em Biologia. Quando eu começo a trabalhar as ligações eu começo a trabalhar a formação de substâncias e essas substâncias vão interferir aonde? No meu dia-a-dia, na minha alimentação, no movimento do meu carro, então eu não consigo tirar ela” [sic].

Morin (2000) no adverte quanto à existência de um problema capital, para ele geralmente ignorado, que é o da necessidade de promover um conhecimento capaz de dar conta de questões globais e fundamentais para neles, então, inserir os conhecimentos parciais e locais. É preciso cautela: a supremacia do conhecimento fragmentado e especializado pode se constituir em um entrave para que se opere o vínculo entre as partes e a totalidade. No âmbito da Complexidade, almeja-se um conhecimento capaz de apreender objetos, ideias, conhecimentos em seu contexto e em seu conjunto (MORIN, 2000).

Se não podemos perder de vista a especificidade que conduziram à constituição de diferentes ciências que encerram na sua autonomia diferentes modos de conhecer um objeto de estudo em particular, tampouco podemos abrir mão de métodos e estratégias que permitam estabelecer as relações mútuas e as influências recíprocas entre as partes e o todo em um mundo complexo.” (MORIN, 2000, p. 16).

O ENSINO FRENTE AO CIRCUITO PRODUTOR DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA

Sempre existe uma concepção epistemológica subjacente a qualquer situação de ensino, ainda que nem sempre explicitada e, muitas vezes, assumida de forma tácita e acrítica (SILVEIRA, 1992). Para o autor, na escola, essa concepção predominantemente assume caráter empirista-indutivista, cujas teses mais importantes são: a observação como fonte e função do conhecimento; o conhecimento científico é obtido a partir dos fenômenos, ou seja, daquilo que se observa, mediante aplicação do método científico. Logo, as teorias científicas não são consideradas invenções, construções ou criações, mas sim, descobertas a partir de conjuntos de dados empíricos. Nossas discussões com nossos colegas professores foram ao encontro disso, revelando marcadamente uma influência dessa epistemologia na construção das respostas pelos grupos.

Para Fourez (2003), várias razões podem estar associadas às concepções que ressaltam o caráter experimental do fazer científico. Entre elas, há o papel científico da experiência na intervenção: ela é, em última instância, aquilo que pode conduzir a aceitação ou à rejeição de um modelo científico; há ainda o chamado à autoridade da experiência, destinado a não deixar margem para críticas de outras autoridades, como letrados ou religiosos. Contudo, o autor também alerta que esta legítima valorização da experiência pode acabar mascarando o caráter abstrato, imaginativo e teórico da ciência. Todo cientista pesquisa a partir da construção de encenações da realidade e são estas que se espera que possam ocupar o lugar do real nas discussões (FOUREZ, 2003). Há que se ter em mente que o objetivo das práticas científicas não se encerra meramente em conduzir e reproduzir experimentos! Mas trata-se, primeiramente, de construir e de saber se valer de representações adequadas, padronizadas e testadas em relação às situações que vivenciamos e sobre as quais agimos (FOUREZ, 2003).

Obviamente não existe um consenso entre epistemólogos, historiadores, filósofos da ciência, professores e cientistas sobre a natureza da ciência. Contudo, Gil-Pérez *et al.* (2001) consideram que algumas visões devem ser evitadas na educação em ciências, entre elas aquelas que apresentam a ciência como uma verdade inquestionável e imutável, superior a outras formas de conhecimento; que consideram a construção do conhecimento científico com bases na observação e experimentação sem levar em conta a influência teórica; a adoção de um único método ou estratégia metodológica para se fazer ciência; que não consideram as tradições, a cultura e os contextos sociais ou outros fatores externos da produção científica; aquelas que desmerecem o papel da criatividade e da imaginação na produção do conhecimento; que tomam a ciência como um desenvolvimento linear e cumulativo, desprezando as suas rupturas e descontinuidades.

A ciência opera a partir de representações da realidade e do mundo que nos cerca. Quando uma representação não é adequada ou suficiente, as ciências procuram construir uma outra que poderá ser colocada à prova via experimentações ou modelos e testes para que se estabeleça até que ponto esta representação abstrata permite agir no concreto (FOUREZ, 2003). No centro das práticas científicas, há a pesquisa por um modelo, por uma representação que poderá ocupar o lugar da situação que se estuda. Mas há, sobretudo, uma relação dialética entre a teoria e a experiência/prática (FOUREZ, 2003).

Pensamos que a visão que construímos sobre a natureza da ciência, em parte, também configura nossa maneira de ver o mundo. Assim como existe um pluralismo metodológico nas ciências, toda construção e interpretação que elaboramos sobre a realidade é somente uma forma de explicação, um ponto de vista transitório e nunca um reflexo fiel do real, o que explica as diferentes visões de mundo e de vida que constituímos ao longo de nossa formação profissional e pessoal.

Especialmente no âmbito das Ciências da Natureza, Morin (2014b) considera que existe uma crise de explicação simples, que passa a incorporar aquilo que parecia ser um resíduo não científico das ciências humanas: a incerteza, a desordem, a contradição, a pluralidade, a provisoriedade. Uma crise no sentido positivo do termo: uma mudança, uma evolução, uma ruptura em relação à epistemologia empirista, na medida em que agora, tendemos a reconhecer que todo conhecimento, incluindo as observações e experimentações, está impregnado de teorias e de ideias prévias. Assumimos o conhecimento científico como uma construção humana que objetiva

para além de compreender e explicar a realidade, agir sobre ela! Emerge a noção de que novos conhecimentos são também fruto da imaginação, da criação, da razão, da inspiração humanas... Reconhecemos, por extensão, que conhecer é sempre uma atividade difícil e problemática, pois é preciso abandonar as certezas e aventurar-se na direção de uma teoria que amanhã pode ser posta em prova e substituída por outra que melhor explique a realidade (SILVEIRA, 2001).

Introduzimos ao conhecimento o princípio do circuito retroativo, um dos quais fundamenta a Complexidade de Edgar Morin e que visa a romper com a causalidade linear. A ideia de retroatividade reconhece a ação da causa sobre o efeito que também retroage sobre a causa em um mecanismo de regulação. Em sua forma negativa, o círculo de retroação (ou *feedback*) permite reduzir o desvio e, assim, estabilizar um sistema. Em sua forma positiva, o círculo de retroação é um mecanismo amplificador (MORIN, 2012a): por exemplo, uma construção científica pode suscitar uma ampla gama de novos questionamentos e perguntas a serem investigadas e ter incontáveis retroações nos fenômenos econômicos, sociais, políticos, culturais...

Conceber o ensino das Ciências da Natureza nessa perspectiva retroativa, nos conduz ao reconhecimento da necessária regulação entre a hiperespecialização e a globalização do conhecimento. Em um feedback negativo, “a hiperespecialização impede tanto a percepção do global (que ela fragmenta em parcelas), quanto do essencial (que ela dissolve)” (MORIN, 2000, p. 38). Impede, inclusive, que se trate dos problemas particulares, que só podem ser pensados ou propostos dentro de seu contexto. Nossos problemas essenciais, existenciais, metafísicos e científicos nunca são parcelados e sua percepção global se faz cada vez mais necessária.

Nicolescu (1999) considera que, contemporaneamente, o crescimento dos saberes não tem precedentes na história da humanidade. Para o autor, hoje é possível explorarmos escalas que outrora eram inimagináveis: vamos do infinitamente pequeno ao infinitamente grande... do infinitamente curto ao infinitamente longo. Claramente a especialização das disciplinas contribui para esse avanço do conhecimento. Mas devemos nos manter alertas!

Como se explica que quanto mais sabemos do que somos feitos, menos compreendemos quem somos? Como se explica que a proliferação acelerada das disciplinas torne cada vez mais ilusória toda unidade do conhecimento? (NICOLESCU, 1999, p. 16).

Com a plena expansão do universo parcelado em disciplinas, inevitavelmente, o campo de cada disciplina estreita-se mais e mais, inclusive, tornando a comunicação

entre elas cada vez mais difícil, até mesmo impossível... Chegamos a um ponto onde dois especialistas da mesma área têm dificuldades em compreender os resultados do trabalho produzido pelo colega ou desconhecem parte daquilo que seu colega produz de conhecimento científico. Seria este o preço imposto pela hiperespecialização?

Uma realidade multiesquizofrênica complexa parece substituir a realidade unidimensional simples do pensamento clássico. O indivíduo, por sua vez, é pulverizado para ser substituído por um número cada vez maior de peças destacadas, estudadas pelas diferentes disciplinas. É o preço que o indivíduo tem que pagar por um conhecimento de certo tipo que ele mesmo instaura (NICOLESCU, 1999, p. 44).

Para Morin, (2012b), pode ocorrer de a hiperespecialização comportar uma baixa complexidade e se tornar um impedimento ao ensino das Ciências da Natureza, na medida em que o recorte das disciplinas impossibilite apreender aquilo que é “tecido junto”, segundo o sentido original do termo, o complexo (MORIN, 2000).

Como nossa educação nos ensinou a separar, compartimentar, isolar, e não a unir os conhecimentos, o conjunto deles constitui um quebra-cabeças ininteligível. As interações, as retroações, os contextos e as complexidades que se encontram na *man's land* entre as disciplinas tornam-se invisíveis. Os grandes problemas humanos desaparecem, em benefício dos problemas técnicos particulares. A incapacidade de organizar o saber disperso e compartimentado conduz à atrofia da disposição mental natural de contextualizar e de globalizar (MORIN, 2000, p. 39).

Em um circuito de retroação positivo, emerge uma integração que comporta múltiplas comunicações, especializações e policompetências... comporta uma otimização complexa: incertezas, liberdades, desordens, antagonismos, concorrências (MORIN, 2012b). Enquanto humanos, somos capazes de considerar a racionalidade que nos cerca. “Mas o princípio da racionalidade só dá uma radiografia da realidade: não lhe dá substância” (MORIN, 2012b, p. 121). Nossa realidade humana é produto de uma simbiose entre o que racionalmente conhecemos e o que vivemos. O racional comporta a lógica, a coerência, a verificação empírica, a experimentação, mas não confere o sentimento de realidade que, para Morin (2012b), é o que dá substância não somente ao mundo real, físico e aos seres biológicos, mas também a entidades como família, pátria, sonhos, ideias, deuses, dotadas de vida plena e que retornam imperiosamente para conferir significado e sentimento à própria realidade.

Questionamos juntamente com Nicolescu (1999) se a complexidade da qual falamos e à qual almejamos seria uma complexidade desordenada, e neste caso seu conhecimento não faria sentido ou esconderia uma nova ordem e uma simplicidade de uma nova natureza que justamente seriam o objeto de um novo conhecimento?

Para o autor, trata-se “[...] de escolher entre um caminho de perdição e um caminho de esperança” (NICOLESCU, 1999, p. 48). Como podemos lidar, nessa perspectiva, com a superação da disciplinaridade que contribui para a promoção de uma inteligência parcelada, disjuntiva, que rompe o complexo do mundo em fragmentos, fraciona os problemas e cria um conhecimento míope (MORIN, 2000)?

Se a disciplinaridade ao mesmo tempo em que produz conhecimentos privilegiados acerca de um nível específico da realidade igualmente contribui para a dificuldade de se pensar multidimensionalidade... Em uma realidade onde mais os problemas se tornam planetários, “[...] mais eles se tornam impensáveis. Incapaz de considerar o contexto e o complexo planetário, a inteligência cega torna-se inconsciente e irresponsável (MORIN, 2000, p. 40).

Ao mesmo tempo, haveria alguma coisa entre e através das disciplinas e para além delas (NICOLESCU, 1999)? Para o autor, do ponto de vista do pensamento clássico, não há absolutamente nada: cada disciplina constitui uma entidade própria, uma pirâmide inteira, e não um fragmento de uma pirâmide maior. Para o pensamento complexo, porém, a resposta evoca o conceito de transdisciplinaridade.

A palavra *trans* significa transgressão do dois, da dualidade que opõe os pares binários e, à primeira vista, antagônicos: sujeito/objeto, subjetividade/objetividade, matéria/consciência, natureza/divino, simplicidade/complexidade, reducionismo/holismo, diversidade/unidade (NICOLESCU, 1999). Assim,

[...] *transdisciplinaridade*, como o prefixo ‘trans’ indica, diz respeito àquilo que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, *através* das diferentes disciplinas e *além* de qualquer disciplina. Seu objetivo é a *compreensão do mundo presente*, para o qual um dos imperativos é a unidade do conhecimento (NICOLESCU, 1999, p.53, grifo do autor).

Isso significa que é possível pensar o ensino das Ciências da Natureza de modo a considerar tanto a relevância e importância do ensino dos conhecimentos específicos inscritos em cada uma das ciências que a constituem na escola: Biologia, Física e Química. Significa igualmente pensar a dinâmica gerada pela ação de vários níveis de realidade pesquisados e explicados por cada ciência ao mesmo tempo. E a descoberta desta dinâmica passa necessariamente pelo conhecimento disciplinar (NICOLESCU, 1999).

Embora a transdisciplinaridade não seja uma nova disciplina, nem uma nova hiperdisciplina, alimenta-se da pesquisa disciplinar que, por sua vez, é iluminada de maneira nova e fecunda pelo conhecimento transdisciplinar. Neste sentido, as pesquisas disciplinares e transdisciplinares não são antagônicas, mas complementares (NICOLESCU, 1999, p. 54).

Na perspectiva transdisciplinar, se existir uma unidade capaz de ligar todos os níveis de realidade, ela deve necessariamente ser uma unidade aberta (NICOLESCU, 1999). A noção de abertura, a partir da Complexidade, diz respeito a todos os seres vivos e, sobretudo, a tudo o que é humano (MORIN, 2013). Todos nós somos radicalmente abertos. Notadamente, nós, seres abertos nos abrindo para o mundo através de nossa ciência, temos nossa própria ciência através da qual nos esforçamos para conhecer o mundo (MORIN, 2013).

Para Nicolescu (1999, p. 63):

[...] nenhum nível de realidade constitui um lugar privilegiado de onde possamos compreender todos os outros níveis de realidade. Um nível de realidade é aquilo que é porque todos os outros níveis existem ao mesmo tempo. Este Princípio de Relatividade dá origem a uma nova maneira de olhar a religião, a política, a arte, a educação, a vida social. E quando nossa visão de mundo muda, o mundo muda. Na visão transdisciplinar, a realidade não é apenas multidimensional, é também multirreferencial (grifo do autor).

Se a realidade apresenta diferentes níveis que serão acessíveis ao conhecimento a partir de diferentes disciplinas científicas, isso ocorre devido aos diferentes níveis de percepção que a cada uma delas corresponde e oportuniza. São esses diferentes níveis de percepção que permitem uma visão cada vez mais englobante e complexa da realidade, sem, contudo, jamais esgotá-la completamente. A compreensão dessa realidade multidimensional e multirreferencial exige considerar que processualmente os seus níveis são ao mesmo tempo causadores e produtores uns dos outros, sendo o conhecimento de seus estados iniciais necessários ao conhecimento dos seus estados finais.

A ideia de circuito é constitutiva dos turbilhões, dos redemoinhos... nasce dos fluxos antagônicos que interagem, se combinam mutuamente de maneira retroativa. O conhecimento da realidade e a ciência que produz esse conhecimento e é por ele produzida são circuito. São turbilhão. Não apenas porque se fecham em si mesmos ao mesmo tempo que mantém a abertura necessária para a sua manutenção, mas porque esta forma de circuito é retroativa: “[...] constitui a retroação do todo enquanto todo sobre os momentos e elementos particulares dos quais ela é resultante” (MORIN, 2013, p. 228). O conhecimento retroage sobre o conhecimento, renova-se na sua força e na sua forma, agindo sobre os elementos e acontecimentos que, caso contrário, tornar-se-iam logo particulares e divergentes (MORIN, 2013). A ciência retroage sobre a ciência e sobre as partes (disciplinas), que, por sua vez, retroagem entre si reforçando o todo, ou seja, a própria ciência.

Em um movimento retroativo, cada um desses circuitos regenera-se a si mesmo e regenera o outro. Cada nível da realidade regenera a si mesmo e regenera os demais. Cada disciplina constituinte das Ciências da Natureza, regenera a si própria e regenera a totalidade. Essa ideia de circuito não significa apenas o reforço retroativo do processo sobre si mesmo, mas significa que onde o processo aparentemente termina, na verdade, um novo início é alimentado.

Enquanto circuito, o conhecimento é organizador, supondo uma relação de abertura e fechamento entre o conhecendo e o conhecido (MORIN, 2011a). Logo, o problema do conhecimento, que inclui a construção científica, é semelhante ao problema das organizações vivas: existe uma fronteira que isola as células e simultaneamente a faz se comunicar e estabelecer trocas permanentes com o exterior. Igualmente o conhecimento disciplinar é delimitado por um objeto de estudo específico, mas que precisa manter-se em constante conexão com as demais áreas do conhecimento para que se possa ensaiar um pensamento planetário, complexo e capaz de dar conta dos diferentes níveis da realidade simultaneamente. Trata-se, em outras palavras, de nos imbuirmos, nós, mestres, de um espírito epistemológico bastante amplo e aberto a fim de que, sem para tanto negligenciarmos o campo da nossa especialidade, possamos conduzir nossos alunos à percepção e compreensão, de forma continuada, das conexões com o conjunto do sistema das ciências (PIAGET, 1977, p.25).

Se no âmbito epistemológico o problema é conceber a abertura que condiciona o fechamento das diferentes ciências e vice-versa, no âmbito pedagógico parece-nos, agora, evidente que a educação nas e para as ciências deverá orientar para uma redução geral das barreiras ou para a abertura de múltiplas portas laterais a fim de possibilitar aos alunos a livre transferência de uma seção para outra, com a possibilidade de escolha para múltiplas (re)combinações (PIAGET, 1977). Mas para isso, é necessário que nos esforcemos constantemente em ampliar nossa compreensão sobre a ciência, sobre o conhecimento, sobre a educação científica como produtos da nossa ação/interpretação humana sobre o mundo e a realidade.

6 A COMPLEXIDADE DE SE PENSAR E ENSINAR A CIÊNCIA BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA

*Talvez os homens não sejamos outra coisa que um modo particular de
contarmos o que somos.
Jorge Larrosa*

*Eu creio pessoalmente que há pelo menos um problema...
que interessa a todos os homens que pensam:
o problema de compreender o mundo, nós mesmos e o nosso
conhecimento como parte do mundo.
Karl Popper*

Discussões acerca dos aspectos ontológicos, epistemológicos e metodológicos sobre a ciência têm consequências importantes para o ensino de ciências e de Biologia. Algumas dessas consequências serão problematizadas neste capítulo, à luz das ideias desenvolvidas nos capítulos 2 e 3. Para tal, neste texto apresentamos e discutimos os dados coletados a partir das entrevistas episódicas realizadas com quatro professores de Biologia da rede pública estadual de ensino em Porto Alegre. São os mesmos professores que contribuíram com a pesquisa nas discussões nos grupos focais apresentadas e discutidas anteriormente.

Nossas entrevistas foram motivadas por questões que nos inquietavam na ocasião de delimitação do projeto de tese, a saber: “Quais são as concepções epistemológicas de ciência e Biologia construídas pelos professores de Biologia?”, “Como se ensina a ciência da Biologia na escola?”, “Como a epistemologia da ciência chega na escola através da Biologia?”, “Que contribuições teóricas podemos construir acerca da superação do dilema reducionismo/holismo na Biologia e no seu ensino escolar?”. Buscamos nossas respostas a partir da construção de um diálogo entre aquilo que nossos colegas professores entrevistados nos contaram, a natureza da ciência e da Biologia e o ensino desta enquanto componente curricular na escola básica.

Comprometidos com a Complexidade, assumimos que tanto biólogos que se dedicam à pesquisa científica, quanto professores que se ocupam do ensino das

ciências biológicas produzem a Biologia (enquanto ciência e enquanto componente curricular, respectivamente) nas interações e pelas interações com outros cientistas e com outros colegas de sala de aula. Mas a própria Biologia, à medida que emerge e se desenvolve, produz a prática desses mesmos biólogos e professores, fornecendo-lhes novos questionamentos, desafios e provocações. Destarte, nossa reflexão se constitui e recorre ao *princípio do circuito recursivo* para desenvolver uma compreensão sobre a natureza do conhecimento biológico construído pelos professores nas suas práticas docentes.

A NATUREZA E O OBJETO DA BIOLOGIA NO CONTEXTO DO ENSINO

A Biologia contemporânea tem sido caracterizada por uma tendência marcante de molecularização das explicações (MAYR, 1988; EL-HANI, 2000). Para El-hani (2000), a Biologia Molecular se tornou muito mais do que um ramo da Biologia, mas uma maneira de compreender os fenômenos biológicos como se fossem uma grande aplicação da Química e da Física. O biólogo molecular concentra sua atenção sobre a função das moléculas do DNA e na transferência das informações genéticas. Para isso, procura isolar cada componente particular sobe exame e, em qualquer estudo determinado, lida geralmente com um único indivíduo, um único órgão, uma única célula ou uma única parte que a compõe (MAYR, 1988). Por certo, o isolamento do objeto estudado das complexidades do organismo possibilita o desenvolvimento de experimentos puramente químicos ou físicos e tal procedimento é absolutamente necessário para que se atinja objetivos particulares.

No entanto, não podemos nunca perder de vista que cada organismo, seja ele um indivíduo ou uma espécie, é sempre produto de uma longa história, história que remonta a mais de três milhões de anos (MAYR, 1988). Isso faz com que dificilmente exista uma estrutura, ou uma função, ou um organismo que possa ser plenamente estudado e compreendido sem que se considere sua historicidade biológica. À vista disso, não podemos considerar a Biologia de maneira simplificada: ela é “[...] diversificada e homogênea, em direções múltiplas e diferentes” (MAYR, 1988, p. 87), não comportando, assim, um único nível de explicação. Aquilo que Mayr (1988) considera como biologia das causas próximas, objeto das ciências fisiológicas (em

sentido lato) põe em evidência as funções de um organismo e suas partes, bem como o seu desenvolvimento, desde a morfologia funcional até a bioquímica. Por outro lado, a biologia das causas evolutivas, históricas, procura explicar por que um organismo é do jeito que é, considerando que quase boa parte dos fenômenos e processos biológicos são explicados por inferências, baseadas em estudos comparativos. As duas biologias são marcadamente auto-suficientes e, ao mesmo tempo, complementares. Para Hull (1975), isso imprime grande significado e importância para a Biologia, na medida em que os métodos pelos quais diferentes biólogos analisam os fenômenos biológicos, organizando leis e teorias, possibilita a produção de conhecimentos nos mais diferentes níveis.

“O objeto da Biologia é a organização biológica e sua natureza a de uma ciência da organização, da forma inteligível” (EL-HANI, 2000, p. 319, grifo do autor). Para Hull (1975, p. 180):

É certamente verdade que nada existe de mais óbvio no estudo da natureza do que a existência de complexidade e níveis de organização. Em nenhuma parte os níveis de organização se encontram mais estratificados e a complexidade é maior do que no mundo orgânico.

El-Hani (2000) assume que este ponto de vista define, em termos ontológicos, a irreducibilidade prática e em princípio dos fenômenos biológicos a suas bases físico-químicas, e implica, de outra parte, sua redutibilidade epistemológica. Assim, a molecularização da Biologia deve ser rejeitada, mas não o papel fundamental da Biologia Molecular nas explicações biológicas.

A ideia que temos construído ao longo deste trabalho considera que os modos reducionistas e holistas de explicação não são concorrentes, mas complementares. As puras explicações holistas são tão incompletas quanto as explicações puramente reducionistas. “Somente os dois tipos de explicação, em conjunto com as explicações históricas, fornecem uma elucidação completa dos fenômenos biológicos” (HULL, 1975, p. 182). O autor ainda vai além:

Em qualquer nível de análise que se escolha, existe sempre um resíduo de problemas não-solucionados. Uma excelente estratégia em ciência (não apenas em Biologia) é ver se alguns desses problemas residuais poderá ser resolvido mediante a passagem a um nível de análise, ora superior, ora inferior (HULL, 1975, p. 185).

Dessa concepção decorre uma consequência: devemos ter sempre em vista, no ensino de Biologia, a compreensão dos princípios organizacionais da matéria viva e, assim, dos conceitos que têm papel central nesta ciência e que expressam a inteligibilidade da forma biológica (EL-HANI, 2000). Isso evidencia a necessidade de

se conceber as explicações detalhadas dos fenômenos e processos biológicos não com um fim em si mesmo, mas como uma ferramenta que possibilite compreender a “lógica” das organizações vivas. A Biologia, na sua diversidade e homogeneidade, comporta conceitos centrais e organizadores do conhecimento biológico, como “vida”, “organização”, “evolução”, “metabolismo”, etc. e que podem favorecer a compreensão integrada dos sistemas vivos, abarcando as dimensões funcionais e históricas das explicações biológicas.

Discussões acerca da natureza e do objeto da Biologia fornecem, além da compreensão dos conceitos fundamentais que concorrem para a manutenção da sua autonomia, um instrumento para a pensarmos sobre os fundamentos dessa ciência que irão constituir o seu ensino. Nesse sentido, a epistemologia, ao abordar as relações entre o sujeito e o objeto do conhecimento, pode nos fornecer algumas ideias acerca de como essa construção se opera dentro de uma ciência em particular, como a Biologia, por exemplo.

Para Piaget (1987) e Bellini (2007), o pensamento biológico foi historicamente tratado com menor atenção (isso em comparação ao conhecimento físico e o matemático), por basear-se essencialmente na experimentação, exigindo pouco da atividade mental do sujeito. Isso devido ao caráter realista do pensamento biológico, conforme comentamos no capítulo 3, que necessita da anterioridade de seus objetos de conhecimento (os seres vivos), bem como das informações advindas dos fenômenos naturais. Assim, o pensamento biológico se alicerçaria sobre a experiência física, que utiliza minimamente a experiência mental, ou seja, a dedução e a criação teórica do sujeito consciente. (MARICATO & CALDEIRA, 2017).

Para Maricato e Caldeira (2017), os estudos de Jean Piaget apontam dois aspectos distintos da epistemologia da Biologia: o fato de a Biologia conduzir a atividade do sujeito atrelada aos objetos exteriores e ao fato de o objeto de estudo da Biologia ser a organização viva, os organismos vivos. O primeiro implicaria, como antecipamos, a uma atividade mínima do sujeito, uma vez que ela não pode prescindir dos objetos e dos dados fornecidos pela natureza. Assim, o sujeito efetivamente opera com o objeto (animais, plantas, células...), mas o conhecimento adquirido é tirado do próprio objeto, na medida em que as informações/características já lhe pertenciam antes da ação do sujeito (PIAGET, 1973).

O segundo aspecto implica que o próprio organismo vivo que é objeto de estudo da Biologia é aquele que também atua como sujeito do conhecimento biológico. Logo,

a relação entre os mecanismos cognitivos e os mecanismos vitais torna-se evidente por si mesma, ou seja, pelo fato de existir uma estreita ligação entre a vida mental e a vida orgânica (MARICATO & CALDEIRA, 2017). Vemos aqui o conhecimento da vida nos introduzir na vida do conhecimento de maneira extraordinariamente íntima: viver, enquanto processo, é um processo cognitivo (MORIN, 2015). Em termos biológicos, o ato de conhecer é um processo dependente do sujeito que conhece e produz o próprio conhecimento biológico.

Piaget (1973) ainda apresenta como resultado do exercício das funções cognitivas humanas, três categorias de conhecimento. O conhecimento inato, ligado a mecanismos hereditários (como instinto e percepção, por exemplo), corresponde biologicamente ao domínio dos caracteres transmitidos através do genoma.

O segundo tipo de conhecimento, o conhecimento adquirido da experiência, inicia-se com a aprendizagem e tem como forma superior aquilo que se conhece por conhecimento experimental. Esse conhecimento, de origem exógena, ocorre por meio da experiência física em todas as suas formas, isto é, dos objetos e suas relações, advindo da experiência prática, ou seja, desde a aprendizagem até o conhecimento físico.

Através desse tipo de experiência, a Biologia, por exemplo, descreve as espécies, atribuindo-lhes qualidades e atributos que lhe são próprios, como a presença de determinadas estruturas (núcleo, cloroplastos, penas, mandíbulas, etc.). A experiência “física” opõe-se à experiência lógico-matemática pelo fato de a informação ser retirada do objeto e não da ação do sujeito (PIAGET, 1973). O conhecimento experimental constitui uma dimensão considerável do trabalho cognitivo humano, sendo tão importante quando o terceiro tipo de conhecimento, o lógico-matemático, estando indissociavelmente a ele ligado por duas razões: a primeira é que

[...] o conhecimento lógico-matemático, embora tirado em sua origem das coordenações gerais da ação, é sempre conhecimento de um objeto, porque a ação, normalmente, não se executa no vácuo e sim sobre objetos. Mesmo remontando às formas mais gerais da organização viva, não há funcionamento sem objeto, pois esta organização é aberta e dinâmica, sendo a organização das trocas entre o ser vivo e o meio (PIAGET, 1973, p. 376).

A segunda razão é de caráter essencial para a compreensão dos conhecimentos adquiridos e da experiência física: no nível do pensamento, os conhecimentos adquiridos se apoiam sobre uma experiência física melhor elaborada,

a representação não se desdobra mais a partir de um quadro hereditário (porque não existem ideias inatas), exigindo um quadro lógico-matemático. Em outros termos,

[...] todo conhecimento do objeto, de qualquer natureza que seja é sempre assimilação a esquemas e estes esquemas contém uma organização lógica ou matemática, por mais elementar que seja (PIAGET, 1973, p. 378).

Por fim, os conhecimentos lógico-matemáticos são progressivamente construídos e ligados à inteligência e, apesar de inicialmente partirem da experiência, rapidamente tornam-se independentes. Isso sugere que sejam extraídos das coordenações gerais das ações exercidas pelo sujeito sobre os objetos e não propriamente dos objetos como tais (PIAGET, 1973). Exemplos do emprego desse tipo de conhecimento no pensamento biológico são observados nos sistemas de classificações biológicas, no estabelecimento de relações filogenéticas entre os organismos, nas interações estabelecidas entre os componentes vivos, nas explicações sobre a origem e diversidade das espécies, ou seja, de certo modo, o papel do pensamento matemático pode ser percebido na maneira como o sujeito conhece o universo biológico (MARICATO & CALDEIRA, 2017).

A Biologia é, como todas as outras formas de conhecimento que constituem as demais ciências, um produto da ação de um organismo vivo que age para uma conquista, uma invenção, uma criação, para muito além de uma mera observação e cópia do real. Essencialmente, conhecer extrapola o mero acúmulo de informações (conteúdos), demandando uma organização no sentido da solução de problemas (PIAGET, 1973) e isso se dá somente mediante a construção de estruturas capazes de operar: sem tal condição, as informações ou os conteúdos ficariam inócuos ou inoperantes.

Enquanto professores, a maneira como concebemos a construção do conhecimento tem implicações diretas na forma como pensamos o ensino e nas estratégias didáticas que delineamos na nossa prática docente. Se considerarmos o conhecimento como uma construção, não podemos perder de vista a atividade do sujeito como condição necessária para toda e qualquer aprendizagem, seja ela escolar ou não.

Conhecer enquanto atividade do sujeito é um processo recursivo.

Eu defino aqui como recursivo todo processo pelo qual uma organização ativa produz os elementos e efeitos que são necessários à sua própria geração ou existência, processos circuitário pelo qual o produto ou efeito final se torna o elemento primeiro ou causa primeira. Percebe-se então que a noção de circuito é muito mais do que retroativa: *ela é recursiva.*” (MORIN, 2013, p. 231, grifo do autor).

Recursividade igualmente é um atributo do conhecimento, na medida em que este se processa e se produz gerando elementos, informações, ideias, contextos que são imprescindíveis para a sua própria geração e manutenção. E, por extensão, o conhecimento biológico também assim se caracteriza: como um circuito recursivo.

De posse dessas ideias até aqui desenvolvidas, seguimos com a apresentação e discussão dos dados coletados nas entrevistas episódicas, conduzidas de acordo com o guia de entrevistas (Apêndice B). Conforme detalhado Capítulo 1 “SOBRE O MÉTODO”, para análise e interpretação do nosso conjunto de dados, aplicamos a técnica de Análise de Conteúdo.

ANÁLISE QUALITATIVA E DISCUSSÃO DAS ENTREVISTAS EPISÓDICAS

Os dados apresentados a seguir estão organizados em cinco categorias, que correspondem à interpretação e análise das questões propostas e discutidas nas entrevistas de forma transversal, ou seja, cada categoria corresponde não somente a respostas que emergiram em uma única pergunta do guia, mas a várias delas.

Categoria 1: Significados de ‘biologia’

Esta categoria, em especial, emergiu a partir da questão S1, do guia de tópicos empregado na condução das entrevistas episódicas. Quanto ao significado da biologia, nossos professores fizeram forte associação com a questão ambiental, que apareceu em todas as respostas, mas com diferentes argumentações. Nas respostas de B2 e B4, essa relação é mais explícita e está associada com tanto com uma definição da área de estudo da Biologia, como na resposta de B2 “[...] a biologia é um estudo [...] é o estudo da vida, todo relacionamento da natureza, dos seres vivos basicamente, o mecanismo de funcionamento é biologia” [sic], quanto a uma predileção por temas específicos, como zoologia, representada na fala de B4: “[...] sempre gostei, sempre gostei, natureza, sempre, sempre gostei, sempre, sempre,

sempre. [...] meio ambiente, é o que gosto mais, animais e meio ambiente, animais a parte de aves e mamíferos, aves répteis e mamíferos” [sic].

A relação entre biologia e natureza também apareceu com uma conotação mais emocional para B5: “[...] minha profissão, minha área, minha paixão né, quando eu ouço a palavra Biologia é isso, uma coisa que meio que se mistura comigo” [sic]. Por fim, a relação biologia-natureza adquire um significado mais profundo e filosófico para B3: “[...] como tu se coloca no mundo assim uma questão mais filosófica “que que eu sou?” sei lá, sou só uma... só uma espécie entre dois milhões, escritas num planeta... sei lá... que me coloca também onde eu estou assim em relação ao resto da natureza assim, acho que é isso” [sic].

A relação com a natureza também aparece como ponto importante nas narrativas sobre o primeiro contato que os professores estabeleceram com a biologia, especialmente para B5: “[...] desde criança, quando eu era criança, em casa, a gente gostava muito de ver aqueles documentários de vida selvagem, ‘América Selvagem’, eu sempre gostei muito de ver esses tipos de programa e eu queria fazer o que aqueles caras faziam, eu quero entender, eu quero pesquisar. [...] quando bem criança, quatro anos, cinco anos assim, sempre foi uma coisa que eu gostei muito, procurar entender a natureza” [sic].

Consideramos que os diferentes significados atribuídos à biologia são resultado e, simultaneamente influenciam, as práticas docentes de nossos colegas professores e, em algum momento, são transmitidas de maneira involuntária para outras pessoas, ainda que implicitamente. Esses significados são representações que levam em conta desde gostos e experiências pessoais vividas na infância/adolescência, até autorreflexões que os professores realizam frente à vida, no seu sentido mais amplo do termo.

Categoria 2: Trajetória e opção pela Biologia

Nessa categoria, reunimos em grande parte as respostas produzidas a partir das questões E2 e E4 do guia de entrevistas. Em todas as falas, nossos colegas remeteram a sua opção profissional pela biologia à memória de um professor que marcou alguma etapa da sua escolarização ou formação acadêmica. Para B3, o

aspecto mais marcante dessa memória foi o didático: “[...] eu sempre gostei muito de aula expositiva bem organizada. [...] eu sei que não é só isso uma aula, mas eu sempre gostei muito assim de um professor que domina o que tá falando e que tem calma assim na hora de explicar aquilo que sabe, que tu vê que ele tem um domínio daquele conteúdo ele te deixa organizado. Assim, ela tinha um quadro organizado, ela tinha domínio da matéria e tu vê que ela era apaixonada por aquilo também e ela fazia tu ficar estimulado por causa daquilo também então, ela chegava animada pra dar aula” [sic].

Tardif (2002) enfatiza o caráter biográfico da docência, evidente nestas duas primeiras categorias que delineamos. Claramente, a docência exige mobilização de diferentes saberes, capturados no decorrer vida, incluindo a vida escolar. Assim, a docência se constitui também mediante

[...] a “experiência vivida” enquanto fonte viva de sentidos a partir da qual o próprio passado lhe possibilita esclarecer o presente e antecipar o futuro. Valores, normas, tradições, experiência vivida são elementos e critérios a partir dos quais o professor emite juízos profissionais (TARDIF, 2002, p. 66).

O autor considera ainda que as experiências formadoras, incluindo aquelas vividas na escola, se dão antes mesmo que a pessoa tenha desenvolvido um aparelho cognitivo aprimorado capaz de nomear e indicar claramente o que ela retém dessas experiências. Assim, os vestígios de socialização escolar do professor são marcantes para a construção do Eu profissional, e constituem o meio privilegiado para se chegar a isso (TARDIF, 2002). O professor que busca definir seu estilo, sua prática, suas escolhas e negociar, em meio a solicitações múltiplas e contraditórias e a formas de identidade aceitáveis tanto para si quanto para o outro, “[...] utilizará referenciais espaço-temporais que considera válidos para alicerçar a legitimidade das certezas experienciais que reivindica” (TARDIF, 2002, p. 68).

Ainda no âmbito da trajetória pessoal de cada um de nossos colegas professores participantes de nossa pesquisa, interessa-nos conhecer os porquês de sua escolha profissional. De modo geral, a opção pelas Ciências Biológicas foi motivada pela expectativa em trabalhar com a pesquisa. Entre o grupo, três professores possuem pós-graduação: B2 é especialista, B3 e B5, mestres. Somente B3 não deu sequência aos seus estudos após concluir a graduação (veja Quadro 2, capítulo 4).

Logo, a docência apareceu em segundo plano para os quatro colegas professores que entrevistamos. “[...] durante toda a graduação eu de algum modo estava ligado a laboratório ou trabalhando com pesquisa e daí enfim preferi seguir a licenciatura também por mais segurança profissional digamos assim” [sic] (B5). “Quando eu escolhi [...] eu entrei no primeiro semestre e fui pra área da pesquisa, no início, toda a minha faculdade no início eu basicamente queria seguir a linha de pesquisa. [...] Porém, com os anos e a dificuldade, a pesquisa no país não é uma coisa valorizada, não é... Começou a aparecer dificuldade, eu queria um emprego estável, eu não conseguia, tinha bolsas e eu vi que cada vez mais para mim trabalhar com pesquisa eu ia ter que me vincular a uma universidade, fazer um concurso, entrar numa panelinha, num grupo e dentro daquele grupo eu sabia que ia aparecer uma vaga e eram, cada vez afunilando mais. Aí eu fiz por necessidade financeira também, eu fiz um concurso passei no magistério” [sic] (B2).

Entre os quatro professores, apenas B3 considerou a licenciatura como opção profissional paralelamente à atividade de pesquisa científica ainda durante a sua formação acadêmica, conforme nos relata: “[...] eu lembro que até entrei sem querer dar aula assim... já troquei pro bacharelado de cara, tanto que todo mundo que entrava na licenciatura tem que fazer a cadeira, uma cadeira meio geral de licenciatura que era introdução a docência. [...] só que daí, ao longo do tempo, lá no segundo semestre final, me convidaram pra dar aula num cursinho popular, aí eu fui dar aula e comecei a gostar de dar aula. Daí, tá, quer saber, eu vou mudar e daí comecei a fazer um planejamento na minha cabeça, tá! Um bacharel não pode dar aula mas o licenciado normalmente pode fazer o que o bacharel pode! [...] depois que comecei a dar aula...e durante a graduação mesmo sempre...grupos de estudos assim, gostava muito de estudar explicando pra alguém as coisas” [sic].

Ainda nos tempos atuais a carreira de professor nas escolas da rede pública despertam pouco entusiasmo, sendo pouco atrativas tanto pelas condições de trabalho, pela falta de infraestrutura, quanto pela baixa remuneração e por se tratar de uma carreira sem grandes perspectivas de ascensão, baixo prestígio social em relação ao alto nível de responsabilidade, burocratização, envolvimento pessoal (CODO, 1999). À vista disso, parece-nos bastante razoável que a docência apareça em último caso, como opção última de trabalho para profissionais das mais diferentes áreas, incluindo a Biologia.

Nosso colega professor mais antigo, B4, relatou-nos que iniciou a carreira docente ainda no começo de sua graduação: “[...] segundo ano de faculdade comecei a dar aula, segundo ano de faculdade! Na época se fazia isso, o Estado corria atrás de professor. E aí me ofereceram, me ofereceram, aí eu fui dar aula, tanto que eu nem fiz estágio”.

A situação vivenciada por B4 ainda é comum no magistério e pensamos ser mais um fator que contribua para a desvalorização da carreira. Mesmo sem formação completa adquirida pela Licenciatura, muitos jovens estudantes iniciam o efetivo trabalho docente nas escolas não na condição de estagiários, mas como profissionais, mesmo que ainda em estágio de formação. Observemos que isso não acontece em outras categorias profissionais como Medicina, Direito, por exemplo. Isso concorre para que a profissão docente seja encarada com pouca seriedade e responsabilidade, e até mesmo desprofissionalização, contribuindo ainda mais para que seja uma atividade pouco valorizada.

Categoria 3: Autonomia da Biologia

Esta categoria abarca as respostas que emergiram a partir das questões S3 e S5 do guia, propostas durante as entrevistas. A autonomia da Biologia frente às outras ciências é defendida com argumentos baseados em uma noção empirista somente por um dos participantes: “Porque ela se baseia nos fatos em comprovações científicas né, em (suspiro) como é que vou te dizer... todas as teorias, todos os conceitos que têm foram estudados e têm comprovações. [...] que eu posso reproduzir algumas coisas e ver que realmente são fatos daí, e as partes evolutivas pelo estudo, né... [sic] (B2).

Para os demais, a autonomia baseia-se no próprio objeto de pesquisa da Biologia: a vida: “[...] em relação à Biologia é a ciência, como o nome já diz né, é a ciência que estuda a vida, os seres vivos, os mecanismos ligados a questão da vida né, então isso é que dá, digamos assim, a condição particular dela como uma ciência independente, estuda os aspectos relacionados à vida” [sic] (B5). “[...] tu vai ter fenômenos que são específicos da Biologia e que tu não consegue explicar em outros níveis, assim, então eu acho que isso, assim, por exemplo, seleção natural é uma

coisa específica da Biologia que talvez a partir de outras coisas tu não consegue. Então, são conceitos próprios, hipóteses próprias também e teorias próprias assim, basicamente definem ela, e que ela consegue fazer isso também de uma forma sistemática assim, então tem experimentos que comprovam determinadas hipóteses [...] essa parte é meio parecida com as outras, mas acho que tem características, acho que até dá pra falar emergentes, que tornam a Biologia única” [sic] (B3).

Desde o estabelecimento do conceito de ‘vida’ como o objeto de estudo próprio da Biologia, a sua definição se tornou um dos principais problemas teóricos da Filosofia da Biologia (EMMECHE & EL-HANI, 2000). Devemos esperar, em geral, que cada ciência ofereça definições claras e consistentes sobre os conceitos que emprega. Pois se a ciência deve ter clareza quanto aos conceitos que emprega e sobre os quais se estrutura, quanto mais ainda deve ser capaz de delimitar um conceito que denota o próprio objeto de pesquisa. O trabalho de Emmeche e El-Hani (2000) apresenta uma síntese de várias propostas de definição de vida ao longo da história da Biologia e mesmo desde antes do seu surgimento, quando ainda competia à História Natural tratar de questões específicas dos organismos vivos. No entanto, os autores consideram que é comum tanto para biólogos quanto para filósofos interessados na Biologia, a ideia de que todas as tentativas de formular uma definição precisa e satisfatória de ‘vida’ fracassaram.

Alguns biólogos consideram, ainda, que tais questões de definição não têm grande importância para a pesquisa, sendo suficiente estudar organismos concretos (obviamente vivos) e explicá-los do ponto de vista molecular, evolutivo, ecológico etc. (EMMECHE & EL-HANI, 2000, p. 53).

Para os autores, as definições de ‘vida’ têm um papel central a cumprir nas ciências biológicas, ainda que estas não detenham o monopólio sobre este conceito. Desta forma, enquanto professores, lidamos igualmente com essa dificuldade de abordar o tema ‘vida’ na sala de aula, já que a própria ciência biológica não estabelece sua definição conclusiva. Tampouco nos livros didáticos essa definição é discutida ou problematizada, conforme aponta o trabalho de El-Hani e Kawasaki (2002).

Nas discussões que buscavam uma reflexão sobre a possibilidade ou não de aproximações entre a Biologia enquanto ciência e a Biologia disciplinar, todos os professores consideraram que a primeira difere daquela ensinada na escola. Para B5, uma das diferenças repousa sobre o grau de aprofundamento: “[...] têm certos processos que são simplificados quando tu trabalha na escola, ah...na escola tu tem também currículo moldado um pouco pela questão do livro didático. Infelizmente, ele

é um fator que limita e delimita currículo. Sim, o vestibular! O vestibular também faz isso, o ENEM, vestibular, enfim né... [...] também engessa um pouco, faz com que a gente direcione o conhecimento para o que é solicitado no vestibular. Mas essas são as principais diferenças eu diria né, a questão do grau de profundidade que se trabalha, do ordenamento, da sequência didática, essas são as principais diferenças na minha opinião assim.” [sic].

Outra diferença apontada é a com relação à metodologia com que se ensina os conteúdos dessa ciência: “[...] a Biologia da escola é um teoria né, a gente passa muita teoria para os alunos. Muitas coisas que não são palpáveis e eles estão numa geração muito visual, muito, eles precisam do concreto e muitas vezes a gente fica muito no abstrato e eles acabam não entendendo” [sic] (B2). Para B3, as universidades produzem o conhecimento, inclusive dentro das Ciências Biológicas, determinando aquilo que deve ser ensinado na escola: “[...] daí a universidade faz as coisas [...] ela molda o sistema do ensino da forma dela. Então, às vezes, eu até acho engraçado porque eles falam: ah tu tem que ensinar evolução de uma forma integrada assim, mas os meu professores da faculdade não sabem fazer isso...” [sic].

Outras diferenças também foram elencadas pelos professores para caracterizar a Biologia como ciência, como o emprego de uma nomenclatura técnica e específica, a reflexão sobre o que significa ciência e como ela é produzida, a produção de todo tipo de conhecimento, a possibilidade de se estabelecer grupos de pesquisa com colaboração de pesquisadores de outras áreas, a possibilidade de adquirir equipamentos para realização de experimentos e simulações, a não-linearidade das pesquisas e do conhecimento, por exemplo. Por fim, percebe-se que há um equívoco conceitual entre ciência autônoma e independente. A autonomia da Biologia, proposta por Mayr (1998), refere-se à explicação dos sistemas vivos por metodologias e modelos conceituais próprios, o que não significa que os estudos e conceitos de outras ciências não podem estar relacionados à Biologia.

Categoria 4: Articulação entre a Biologia e as Ciências da Natureza

A associação entre a Biologia e os demais componentes curriculares das Ciências da Natureza, abordada especialmente a partir das questões E6, E7, E8, S9

do guia de entrevistas, foi vista com bons olhos por todos os professores, mas com algumas ressalvas, como a falta de domínio conceitual de determinados tópicos da Química e da Física e pela dificuldade em estabelecer articulações entre determinados temas da Biologia com as outras disciplinas. “[...] alguns assuntos são mais, digamos, fáceis de se fazer essa relação, né. [...] são mais diretas, as relações são estabelecidas mais diretamente, né, por exemplo, conteúdos como fotossíntese é bem mais fácil de relacionar com Química e com Física por causa da questão de energia, de componentes químicos orgânicos, ah...especialmente no primeiro ano eu vejo que, o assunto célula. [...] e ecologia também permite um pouco isso, essa interface Química-Física-Biologia” [sic] (B5). Ecologia e fotossíntese foram dois temas citados pelos quatro colegas professores como exemplos de conteúdos que possibilitam a articulação da Biologia com as outras disciplinas.

Além de especificarem esses dois temas, todos os professores afirmaram ser mais fácil fazer a integração da conteúdos biológicos com aqueles de outros componentes curriculares a partir de exemplos concretos de situações cotidianas e de perguntas trazidas pelos próprios alunos, como evidencia a fala de B4: “Quais assuntos são mais fáceis? Todos os que tu consegue puxar pro dia a dia! [...] curiosidade, pergunta, pergunta, pergunta, impressionante... E então, tu acaba falando do dia a dia, tem muitas vezes eu não venço o conteúdo, não venço mas eu me dou por satisfeito” [sic].

Ao relatarem como temas de zoologia, ecologia e fotossíntese foram recentemente trabalhados, os professores entrevistados costumam utilizar recursos digitais, especialmente vídeos do Youtube para ilustrar as aulas, tendo em vista a dificuldade de desenvolverem aulas práticas e em laboratório. “[...] é mostrando filmezinho pra tentar ver se, a parte, por exemplo, de cnidários, essa parte de esponjas marinhas, eu vou muito mais no filme, que não adianta falar pra eles o coral, tem que mostrar o coral, mas que que é isso? Coral tá aqui, tu pode usar pra isso, é um bioindicador, é isso, é aquilo, então pode ser, então tu mostra isso” [sic].

Outros temas como biomoléculas também foram citados entre os que favorecem o ensino na perspectiva mais ampla das Ciências da Natureza, como ilustra a fala de B3: “[...] eu acho fácil de trabalhar porque ele é bem estruturado né, tu chega... moléculas inorgânicas: água e sais minerais... agora vamos para as orgânicas. Depois que tu explicou [...] ele é fácil de organizar na cabeça deles assim, ah dos orgânicos: carboidratos, proteínas, lipídeos, ácidos nucleicos... Aí, ah

normalmente tirando lipídios vai ser uma molécula grande que é formada por pequenas coisinhas, daí eu dou exemplo: ah é tipo um trem, a macromolécula... o polímero é o trem e daí o vagão do trem é o monômero, daí o monômero de cada um vai ser diferente no caso dos açúcares vai ser um monossacarídeo, no caso das proteínas vai ser um aminoácido, no caso dos ácidos nucleicos vai ser o nucleotídeo, dai eles conseguem assim com essa analogia, metáfora, entender fácil assim, só que, claro não sei daqui quatro aulas se eu chegar e perguntar pra eles vão lembrar né...” [sic].

A integração entre as disciplinas foi defendida pelos professores não somente através de exemplos de temas específicos, mas também através de uma metodologia que pudesse proporcionar aulas nas quais colegas das Ciências da Natureza tivessem a oportunidade de trabalhar na mesma turma ao mesmo tempo. “[...] quando tu fala em fotossíntese, por exemplo [...] nós deveríamos trabalhar mais, eu acho que nós deveríamos trabalhar assim, quando eu chegasse lá na hora de eu falar em fotossíntese, o cara de Química deveria tá do meu lado [...] é que o Estado queria com essa história de área: Física, Química e Biologia” [sic] (B4).

Apesar de favoráveis ao trabalho em parceria com outros colegas e à integração entre os conteúdos das Ciências da Natureza, todos apresentaram restrições quando questionados acerca da possibilidade de englobamento da Física, da Química e da Biologia em uma única disciplina, Ciências da Natureza. A argumentação de B3 nos chama a atenção por apresentar uma reflexão mais profunda sobre a ideia: “[...] eu gosto da ideia de relacionar coisas assim e se tu for ver é uma tendência atual. Mesmo nas universidades assim, tu ainda tem, tem departamentos de determinadas áreas, mas os lugares que estão resolvendo coisas legais são os lugares que estão juntando pessoas de diferentes áreas. [...] E não tão preocupados com o assunto, mas com resolver um problema. Então o departamento de neurociência que tem matemáticos, tem estatísticos, que tem o pessoal da medicina, tem o pessoal da física, então, que tá resolvendo os grandes problemas são núcleos interdisciplinares, eu acho que é uma tendência assim. [...] poderia ter as disciplinas específicas, mas também ter uma, talvez, uma disciplina extra que é Ciências da Natureza, e daí teria temas amplos assim, por exemplo, a energia... ah é uma coisa que tu consegue trabalhar com Química, Física e Biologia, meio ambiente Química, Física e Biologia então em vez de tu trabalhar problemas ambientais em um conteúdo específico de Ecologia, trabalhar nessa disciplina de Ciências” [sic].

Por outro lado, B4 defende uma maior pulverização dos conteúdos e o desdobramento das disciplinas atuais em outras ainda mais específicas: “[...] eu acho assim, que o currículo antigo, da minha época, por exemplo, aquele currículo antigo, só Biologia e algumas Químicas, Química orgânica, a melhor coisa que tinha... [...] eu acho que é muito mais completo” [sic]. O professor B5 acresce o aspecto da superficialidade do ensino frente ao possível englobamento das disciplinas: “Eu, a princípio, não sou a favor não! [...] eu acho que, eu creio que isso vai trazer um, ao estudante, um grau de aprofundamento menor [...] de conhecimento. Eu acho que os estudantes vão ter um conhecimento mais superficial de ciências. [...] Eu acho que no Ensino Fundamental é ideal que seja assim, já é né, mas no Ensino Médio eu vejo com certa restrição... eu não sou assim completamente contra, mas eu vejo com uma certa restrição isso, porque normalmente se essa Ciências da Natureza fosse dada como um componente único mas ela tivesse profissionais formados nos três campos, se ela fosse ministrada por três professores, ai eu até... Mas como eu acredito que isso não vai acontecer, que a disciplina de Ciências da Natureza vai ser ministrada por um docente só [...] de uma das áreas, nós vamos ter, dependendo da escola, alunos muito bons em Química, ou muito bons em Física ou Biologia” [sic].

Por fim, unanimemente, os professores concordaram que seriam necessários cursos de formação para que a integração dos conteúdos da Biologia com a Química e a Física fosse realizada de maneira mais concreta e possibilitasse uma visão mais ampla das Ciências da Natureza.

Categoria 5: Níveis da realidade

Esta última categoria refere-se àquilo que chamamos de níveis da realidade e emerge a partir das respostas às questões S10, S11, S12 do guia de entrevistas. Incluímos aqui as discussões considerando a existência das duas biologias, conforme proposto por Mayr (1998), a biologia funcional e a biologia evolutiva/histórica. Na primeira, é frequente encontrarmos pesquisas e produção de conhecimentos alicerçados em conceitos da Física e da Química, evidenciando um nível mais microscópico da realidade. Já a biologia histórica demanda um outro nível de análise, o macroscópico, mas sem que se perca de vista os processos que ocorrem nos níveis

inferiores. Seja qual for a biologia em perspectiva, não perdemos de vista a sua conexão com conhecimentos de outras disciplinas, constituindo esta ao lado da Química e da Física a grande área de conhecimento das Ciências da Natureza.

Em nível molecular, no qual a Biologia lida basicamente com fenômenos físico-químicos, os professores desenvolvem conteúdos como fotossíntese, respiração celular, transcrição do DNA, utilizando equações e modelos próprios dessas outras duas ciências, como relatado por B3: “[...] por exemplo, se tu for pegar o modelo da transcrição mesmo, o modelinho explicando assim esse pra esse e desse pra esse, e como ocorre, ah se tu vai querer explicar, sempre vai ser o modelo simplificado. [...] mesmo se tu for não trabalhar no quadro, tu vai mostrar um vídeo pra eles, é um modelo de como aquilo ocorre só que tá animado, mas tu vai usar modelos pra explicar isso e eles vão ter que entender o processo a partir do modelo” [sic].

Como melhor estratégia para desenvolver esses tópicos em que o nível microscópico fica em evidência, B5 considera as aulas expositivas o mais adequado: “[...] expositivo dialogado com muito exercício né. [...] essa parte molecular eu pego forte assim com eles. [...] Aí, então sempre tentando [...] os exemplos que sejam assim aplicáveis, enfim. E esse trimestre eu não consegui porque foi muito corrido, mas eu sempre faço uma rodada de seminários que eles têm é... [...] assuntos que são relacionados a genética e que são, digamos assim, polêmicos: transgenia, clonagem, células tronco, coisas desse tipo” [sic].

Para B2 e B4, tais tópicos são melhor desenvolvidos com a utilização de vídeos e recursos digitais: “[...] procuro muito recurso na internet, vídeos ilustrativos, coisas que eles possam visualizar. [...] só o oral, só o falar, às vezes, é bem complicado, e até olhar no livro, no próprio livro didático não traz mais, muito alunos não sabem nem mexer num livro.” [sic] (B2).

Entre nosso grupo de entrevistados, todos os professores concordam que a decomposição dos fenômenos biológicos, partindo de conceitos mais simples para os mais complexos, contribui para a aprendizagem dos alunos. Como mais simples de ser compreendido, é considerada a abordagem mais global, mais ampla dos conteúdos: “[...] eu ia, eu iria, exatamente, eu iria do macro, se eu tivesse que fazer uma sequência em Biologia pro Ensino Médio nos três anos, eu começaria com ecologia, seres vivos e ia caminhando pro nível molecular. [...] eu acho que por esses fatores: grau de abstração, maturidade mesmo como estudante, tu começa com algo que eles, que seja mais palpável pra eles, os seres vivos, o ambiente que eles

conhecem, que eles vivem né, eu acho que é mais, seria mais lógico, estabelecer uma sequência nesse tipo aí, ao contrário do que a gente tem, né.” [sic] (B5).

Para B3, “[...] acho que mostrar, por exemplo, primeiro, sei lá, vamos trabalhar a ideia de que as plantas estão absorvendo luz e gás carbônico e produzindo açúcar, isso é uma ideia mais macro, né? [...] aí, a partir disso, vamos detalhar o processo, acho melhor do que, sei lá, chegar com uma fórmula. Então, sim, uma contextualização mais macro antes do fenômeno geral, assim pra depois entrar em detalhes” [sic].

A existência de duas biologias e de diferentes níveis de abordagem por elas possibilitados é considerada por todos os professores como um fator que favorece o emprego de múltiplas abordagens e estratégias metodológicas de ensino. “[...] pra exemplificar, [...] o terceiro ano que é o que eu tenho mais turmas, tu tens, tu trabalha de uma maneira com genética, uma pesquisa bem cartesiana né, o método científico bem clássico, [...] e tu vai pra, termina o ano com evolução que é uma outra maneira, outra abordagem, outra maneira de fazer pesquisa, outra maneira de abordar o tema também, se aproxima muito mais das Ciências Humanas digamos assim, né. Uma maneira de trabalhar com leitura, com debate, bem diferente da genética que é mais matemática, tu fala, né, expõe, exercício, [...] treina, treina... bem isso, né, treina...” [sic] (B5). Da mesma forma para B3, “[...] eu não sei se tem uma relação direta, assim, mas eu acho que por a Biologia ser muito diversificada já cria uma possibilidade do ensino dela ser diversificado também” [sic].

Efetivamente, a partir das entrevistas, parece que o grupo de professores que entrevistamos se esforça por buscar estratégias de ensino que qualifiquem suas aulas para além da habitual aula tradicional, com a exposição dos conteúdos. Esse esforço, reconhecemos, é louvável, tendo em vista a falta de equipamentos e laboratórios e de infraestrutura geral que as escolas nas quais nossos colegas trabalham apresentaram na ocasião de realização das coletas de dados.

O CIRCUITO RECURSIVO E O ENSINO DE BIOLOGIA

Temos desenvolvido a ideia de que o conhecimento do mundo, não somente o biológico, como mundo é uma necessidade ao mesmo tempo intelectual e vital. É o

problema universal de todo ser vivo, em especial da espécie humana, ter acesso às informações do ambiente que o cerca e organizá-las de maneira inteligível. Tal como num circuito, somos gerados pelos produtos e pelos efeitos que nossas próprias ações produzem.

Nossa organização biológica concorre para que todas as nossas células, seus componentes, órgãos, sistemas garantam a homeostase do metabolismo que recursivamente garante as condições necessárias para que cada parte do sistema possa manter seu funcionamento. Enquanto humanos, produzimos a sociedade nas e pelas interações..., mas a sociedade, à medida que emerge, produz a nossa humanidade, fornecendo-nos uma linguagem e uma cultura.

Assim, a ideia do circuito recursivo é mais completa e vai além da de circuito retroativo, concebendo a autoprodução e a auto-organização do conhecimento (MORIN, 2015). Tal noção implica que o fim do processo alimenta o seu começo:

[...] o estado final se tornando de alguma forma o estado inicial, mesmo permanecendo final, o estado final, mesmo permanecendo estado inicial. É dizer ainda que o circuito é o processo em que os produtos e os efeitos finais se tornam elementos e características primordiais. Isto é um processo recursivo: *todo processo cujos estados ou efeitos finais produzem os estados iniciais ou as causas iniciais* (MORIN, 2013, p. 232, grifo do autor).

A organização biológica é ativa. O conhecimento, como forma especializada de adaptação, é ativo. Dizer que uma organização é ativa significa dizer que ela gera ações e/ou que ela é gerada por ações. É dizer muito mais que isso... Ser ativo é produzir, inclusive a si próprio: “Produzir significa, no sentido principal para nós aqui, *conduzir ao ser ou à existência*” (MORIN, 2013, p. 200, grifo do autor).

O aparecimento da vida e a sua manutenção corresponde a um turbilhão de macromoléculas e a uma organização capaz de se auto-organizar, autoconsertar, auto-produzir, retirando do ambiente a organização, a energia e a informação. Da mesma forma, os processos cognitivos: eles aparecem simultaneamente como resultantes da autorregulação, da auto-organização, da auto-produção orgânica, cujos mecanismos essenciais refletem, e como os órgãos mais diferenciados dessa regulação no seio das interações com o exterior (PIAGET, 1973). Destarte, “O problema do conhecimento acha-se no coração do problema da vida” (MORIN, 2015, p. 44).

A ideia de recursão reforça e ilumina a ideia de totalidade ativa. Ela significa que nada isoladamente é generativo:

[...] é o processo na sua totalidade que é generativo desde que ele se feche em si mesmo. Ao mesmo tempo a ação total depende de cada momento ou elemento particular, o que dissipa toda a ideia vaga ou mística da totalidade.” (MORIN, 2013, p. 232).

O princípio da recursividade, assim como a construção do conhecimento, ensaia um movimento em forma de espiral, no qual cada começo é originado em um final anterior, implicando um pensamento aberto ao inesperado, ao novo, ao incerto, ao provisório, pressupondo o inacabamento e a origem de um novo ponto de início onde aparentemente existe um fim.

Se o problema central do conhecimento corresponde muito diretamente ao problema biológico da auto-organização/auto-produção e das interações do organismo com o meio que recursivamente retroage sobre esse organismo; se assumimos que há entre organismo-ambiente interações tais que ambos se impõe e modificam-se mutuamente; logo, a indissociabilidade entre organismo e ambiente reflete-se também na relação entre o sujeito que conhece e o objeto a ser conhecido.

Os processos cognoscitivos aparecem então simultaneamente como a resultante da auto-regulação orgânica, da qual refletem os mecanismos essenciais, e como os órgãos mais diferenciados dessa relação no âmbito das interações com o exterior, de tal maneira que acabam, no homem, por estendê-las ao universo inteiro. (PIAGET, 1973, p. 38).

Enquanto organismos biológicos e, portanto, ativos, agimos como sujeitos para a construção do conhecimento. Nisso reside o cerne de toda a explicação piagetiana da gênese e do desenvolvimento do conhecimento: na ação (BECKER, 2012b). O conhecimento não está no sujeito, tampouco fora dele, nos objetos. Mas na ação mútua, na interação entre ambos.

O mundo do objeto fornece o conteúdo (assimilação), o mundo do sujeito cria novas formas (acomodação), a partir das formas (reflexos) dadas na bagagem hereditária. Posteriormente, as próprias formas, construídas por este processo de abstração reflexionante, transformam-se em conteúdos a partir de cuja assimilação se constroem novas e mais poderosas formas. É a ação do sujeito que constrói este novo e fascinante mundo: o mundo do conhecimento – como forma e como conteúdo. (BECKER, 2012b, p. 20).

Sujeito e objeto interagem. Essa noção tem implicações dramáticas: os conhecimentos não constituem uma cópia do mundo, da realidade, do objeto, mas sim “um sistema de interações reais, que refletem a organização auto-reguladora da vida tanto quanto as próprias coisas” (PIAGET, 1973, p. 39). À vista disso, não podemos conceber as aprendizagens humanas senão como um processo de construção e de ação. Nascermos para um mundo onde somos obrigados a aprender, a produzir uma

gama de conhecimentos e, a partir deles, uma síntese indefinidamente renovada que alimenta o próprio processo de aprendizagem (escolar ou não) continuamente.

Se a aprendizagem humana se situa no prolongamento do processo de desenvolvimento humano, se ela ocorre por força da ação do sujeito, ela não pode ser necessariamente debitada ao ensino. Em outras palavras: “Aprende-se porque se age e não porque se ensina, por mais que o ensino possa colaborar com essa atividade” (BECKER, 2012a, p. 33). O que isso implica para o ensino? Que o ensino não pode ser assumido como a fonte da aprendizagem, que ensinar não é transferir conhecimentos e conteúdos a ninguém (FREIRE, 1996). Nessa perspectiva, ensinar exige a consciência de que, enquanto professores, podemos auxiliar na compreensão, na criação, na invenção de algo, mas sob o empenho ativo do outro a quem ensinamos, que constrói, enquanto sujeito, toda e qualquer aprendizagem para si. Exige a consciência do inacabamento, da inconclusão do ser humano, da aventura criadora que significa conhecer e aprender (FREIRE, 1996). Exige reconhecer que a própria compreensão do mundo é uma especificidade humana e “[...] compreender é inventar, ou reconstruir através da reinvenção” (PIAGET, 1977, p.20).

Reconhecemos, no processo de aprendizagem, o princípio recursivo da Complexidade, por implicar a produção de si, a regeneração e a reorganização permanente (MORIN, 2013). À vista disso, a aprendizagem é um processo retroativo/recursivo que se produz descontinuamente, num recomeço ininterrupto e que se confunde com a sua própria existência. A própria produção de si permanente é, uma regeneração permanente, precisa de generatividade para se regenerar. As aprendizagens que construímos se reorganizam permanentemente a fim de dar conta das novidades que se apresentam mediante sua própria regeneração. O resultado disso é a permanente “[...] construção e a descoberta do novo, é a criação de uma atitude de busca e de coragem que essa busca exige” (BECKER, 2012a, p. 26).

A complexidade que reconhecemos no processo de aprendizagem, no processo de construção do conhecimento e, por extensão, na produção científica, teria sido criada por nossa cabeça ou se encontra na própria natureza das coisas, do mundo, da realidade? Para Nicolescu (1999),

O estudo dos sistemas naturais nos dá uma resposta parcial a esta pergunta: tanto uma quanto outra. A complexidade das ciências é antes de mais nada a complexidade das equações e dos modelos. Ela é, portanto, produto de nossa cabeça, que é complexa por sua própria natureza. Porém, esta complexidade é a imagem refletida da complexidade dos dados

experimentais, que se acumulam sem parar. Ela também está, portanto na natureza das coisas.” (p. 48).

Na natureza das coisas, na ciência, no conhecimento: a complexidade. A história das ciências é a história da resistência dos objetos a serem assimilados por nós. Quantos procedimentos, quantas construções/reconstruções/desconstruções precisamos inventar para que o objeto fosse revelado, revelando-se também a necessidade de retomarmos o processo desde o início, a fim de dar conta de outras demandas que a própria produção do novo conhecimento nos impusera. No que concerne à Biologia,

Quantos procedimentos foram necessários para fazer o genoma humano revelar-se em sua extraordinária complexidade e em sua extensão. Mesmo assim, esse feito fica no meio do caminho da compreensão de como o genoma produz um organismo em sua complexidade. (BECKER, 2012a, p. 175).

Reconhecer a complexidade da ciência, por extensão, da Biologia, implica no reconhecimento dos princípios organizacionais que a constituem. Em especial, nas Ciências Biológicas, reconhecer a organização viva como o cerne sobre o qual a pesquisa nesse campo se delinea e define sua autonomia científica. Identificar que isso implica em conceitos que assumem papel central nessa ciência e expressam a inteligibilidade da forma biológica (EL-HANI, 2000).

Que implicações esse reconhecimento imprime ao ensino? Como podemos promover uma visão da Biologia que contemple a compreensão dos processos biológicos enquanto ferramenta para acessar a lógica das organizações vivas? Para Poplin (1988), considerar o papel dos conceitos centrais e organizadores do conhecimento biológico e promover uma visão integrada e integradora da Biologia demanda estratégias de ensino que abarquem uma abordagem do todo para as partes, prioritariamente, para, então, fazer o caminho de volta, das partes para o todo, e assim, sucessivamente. Isso também foi reconhecido por nossos colegas professores, conforme apresentamos na Categoria 5 de nossa análise de dados. Para a autora, dessa forma, as novas aprendizagens seriam construídas como produto de transformações que ocorrem entre aquilo que há de novo para ser conhecido e todas as outras aprendizagens e conhecimentos já construídos.

Poplin (1988) elabora sua proposição holista²⁵/construtivista com base em três fases de construção do conhecimento. Na primeira delas, caracterizada pela

²⁵ A concepção de holismo adotada pela autora consiste na proposição de que todas as totalidades são mais do que a soma de suas partes e partes somente podem ser compreendidas em relação a sua

curiosidade, pela busca de novas experiências, pela formulação de ideias, questões, pela criação, conceitos centrais e organizadores da Biologia teriam papel fundamental, ao fornecerem uma visão global de um universo ainda não estruturado de informações. Esta visão, exatamente por ainda ser vaga e pouco estruturada, poderia suscitar nos estudantes o desejo de conhecer e a motivação para o estudo detalhado de conceitos mais específicos.

A estrutura global vislumbrada nesta primeira fase deverá servir como uma das bases para os atos de significação do aprendiz, permitindo-lhe, idealmente, aprender cada conceito específico não como um fim em si mesmo, mas como um elemento que vem somar-se àquela estrutura em formação, conferindo-lhe conteúdo e, ao mesmo tempo, adquirindo significado a partir do conteúdo que ela já apresenta. (EL-HANI, 2000, p. 321).

Na fase seguinte, são explorados os detalhes (ou as partes) de um dado conteúdo, tema ou área do conhecimento. É aqui que a maioria das estratégias de ensino se encerra, perdendo de vista o estágio anterior, e a fase final de sistematização dos conhecimentos na estrutura global (POPLIN, 1988). Na visão da autora, a limitação a essa fase se aplica ao ensino de ciências e de Biologia especialmente pela maior aplicabilidade de técnicas reducionistas que este estágio proporciona.

Por fim, a última fase os elementos detalhados na fase anterior são reunidos em uma totalidade tão integrada e coesa quanto for possível. Aqui, os detalhes são colocados em segundo plano em favor de uma apreensão e aplicação ativa de princípios gerais. Assim, os conceitos centrais, importantes na apresentação inicial daquele domínio de conhecimentos, retornam ao fim do processo, agora, porém, não de maneira indefinida e vaga, mas delineados pelos conteúdos e detalhes específicos aos quais conferem unidade, desempenhando o papel integrador que lhes cabe (EL-HANI, 2000).

Se a polarização entre os níveis de explicação reducionista e holista tem sido debatido no sentido de sua superação na ciência, conforme discutimos no capítulo 2, convém considerarmos a necessidade dessa superação também no caso do ensino de Ciências. Essas duas posições explanatórias, ao evidenciarem diferentes níveis da realidade, quando consideradas em complementaridade, de maneira, integrada, retroativa, recursiva, abarcam a tanto a pluralidade complexa quanto a unidade aberta

função na totalidade. Ela observa que o holismo não é o oposto do reducionismo, mas inclui e expande os conceitos e métodos deste último. Isto é, reconhece-se na metodologia holística que a identificação e o exame das partes ou dos elementos são necessários, mas as partes devem ser constantemente relacionadas com a totalidade em qualquer situação dada (EL-HANI, 2000).

que são facetas de uma única e mesma realidade (NICOLESCU, 1999). Para o autor, “[...] *nenhum nível de realidade constitui um lugar privilegiado de onde possamos compreender todos os outros níveis de realidade*” (p. 64, grifo do autor).

Um determinado nível da realidade é o que é porque coexiste ao mesmo tempo com todos os outros níveis. Isso configura uma outra maneira de se conceber a educação, a ciência, a política, a vida social.... Nossa visão de mundo muda o mundo e igualmente muda quando este se modifica, isso por ser a realidade multidimensional e também multirreferencial. Para Nicolescu (1999, p. 64), os diferentes níveis da realidade

[...] são acessíveis ao conhecimento humano graças à existência de diferentes *níveis de percepção*, que se acham em correspondência biunívoca com os níveis de realidade. Estes níveis de percepção permitem uma visão cada vez mais geral, unificante, englobante da Realidade, sem jamais esgotá-la completamente (grifo do autor).

Pascal tinha colocado, com razão, que todas as coisas são “causadas e causantes, ajudadas e ajudantes, mediatas e imediatas, e que todas (se interligam) por um laço natural e insensível que liga as mais afastadas e as mais diferentes (MORIN, 2011a). Pensar o ensino das ciências, em particular a Biologia, à luz da Complexidade, é, enfim, considerar que o ensino coincide com uma parte de incerteza, seja proveniente dos limites de nossa compreensão, seja inscrita nos próprios fenômenos, na própria realidade. Mas essa incerteza se insere “[...] *no seio de sistemas ricamente organizados*. Ela diz respeito a sistemas semialeatórios cuja ordem é inseparável dos acasos que a concernem” (MORIN, 2011a, p. 35, grifo do autor). Avancemos, na tentativa não de ir do simples ao complexo, mas da complexidade para cada vez mais complexidade!

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É preciso que eu, incessantemente, mergulhe na água da dúvida.

Wittgenstein

Todo ponto de partida já foi chegada, e todo ponto de chegada pode ser de partida.

Pedro Demo

Talvez haja outros conhecimentos a adquirir, outras interrogações a fazer hoje, partindo não do que os outros souberam, mas do que eles ignoraram.

Serge Moscovici

Não me venham com conclusões.

A única conclusão é morrer.

Fernando Pessoa

Este texto final tem a intenção de resgatar e reforçar algumas ideias, das muitas que possamos ter deixado para trás nesta tese, e apresentar novos pontos de partida que possam suscitar ideias novas e assim dar continuidade ao permanente fluxo de construção do conhecimento. Para tanto, dois princípios da Complexidade nos ajudarão nesta tarefa, pois refletem a maneira como encaramos nosso trabalho ao longo desses quase cinco anos.

O princípio da *reintrodução do conhecimento em todo conhecimento* impõe um problema cognitivo central, ao considerar que todo conhecimento é sempre uma reconstrução, uma tradução realizada por uma mente/cérebro, inserida em uma cultura e época determinadas (MORIN, 2015). Deste modo, assumimos que todas as ideias, questionamentos, apontamentos e provocações que construímos não disfarçam nossos pontos de vista, nossas incertezas, nossas incoerências, nossa subjetividade. Muito antes pelo contrário, expuseram nossa humanidade. Outro pesquisador, com outra história de vida, com outras formas de ver e conceber a vida, com outras experiências, expectativas, fragilidades poderia, a partir dos mesmos dados que exploramos e referenciais teóricos que empregamos, produzir conhecimentos e ideias muito diversas daquelas que apresentamos. E nisso reside

uma das riquezas de toda pergunta que possamos formular: a pluralidade de respostas que podem ser propostas, tomando sempre como referência as subjetividades de cada sujeito que as propõe.

O princípio da reintrodução do conhecimento nos encoraja igualmente a reintroduzir o papel do sujeito em todo conhecimento, enquanto agente que constrói a realidade. Para Morin (2003),

[...] o método se torna central e vital, quando se reconhece necessária e ativamente a presença de um sujeito que se esforça em descobrir, que conhece e pensa. Quando se reconhece que a experiência não é uma fonte clara, inequívoca, do conhecimento. Quando se sabe que o conhecimento não é o acúmulo de dados ou de informação, e sim sua organização. Quando a lógica também perde simultaneamente seu valor perfeito e absoluto, a sociedade e a cultura permitem que passemos a duvidar da ciência, em lugar de fundar o tabu a respeito de uma crença. Quando se sabe que a teoria permanece sempre aberta e inacabada e é preciso haver a crítica da teoria e a teoria da crítica. Por último, quando há incerteza e tensão no conhecimento e as ignorâncias e os questionamentos se revelam e renascem (MORIN, 2003, p. 37).

Ao restaurar o sujeito, este princípio opera de forma paradigmática, porque concerne a aptidão individual de cada um de nós para organizar e produzir conhecimento. E isso não significa apenas ver a lógica das coisas, operar raciocínios formais corretos, mas principalmente, surpreender lógicas onde aparentemente não haveria, pensar de modo flexível para dar conta da flexibilidade da realidade, decifrar o que há de ambíguo e contraditório, ordenar a importância de elementos embaralhados numa situação, encontrar similaridades ou diferenças onde, à primeira vista, parece não haver, re/desconstruir o conhecimento anterior e formular perspectivas inovadoras (DEMO, 2002). Contamos, para isso, com toda sorte de experiências, de certezas provisórias, de modos de conceber o mundo para poder, então, não nos fecharmos em um pensamento individual, pontual, particular, mas um pensamento apto a unir e solidarizar conhecimentos separados. Para além disso, um pensamento capaz de se desdobrar em uma ética da união e da solidariedade entre humanos, tão necessária nos dias de hoje.

Cientes disso, cremos na plausibilidade e na consistência das ideias e interpretações que construímos até aqui, mas, de modo algum, consideramos sua imposição ou as tomamos como um modelo. Tampouco pretendemos generalizá-las, nem tomá-las como conclusivas. Pelo contrário, convidamos o leitor para que possa apropriar-se de tudo aquilo que julgar ser digno de sua apreensão, de sua atenção e que puder conduzir a outras formas de pensamento.

Passamos, assim, à nossa primeira conclusão: conhecer é uma profunda revolta, um confronto, uma não aceitação das coisas como estão. Nada que está posto é de tal forma que não possa ser de outra maneira. O nosso ponto de vista é apenas uma forma, a nossa forma, de ver o mundo, e ainda assim é provisório.

Nosso problema de pesquisa abarcou a relação entre as proposições de explicação da ciência, sua transposição para a Biologia e, por fim, para o seu ensino, porque reconhecemos em nós mesmos, enquanto professores, uma necessidade inquietante de transformar nossa própria prática e nosso modo de pensar. Nosso próprio modo de conceber essas relações era simplificado e simplificador. A Complexidade nos imputou o grande desafio de transformarmos a nós mesmos.

As implicações que pensamos que esta tese produz, aplicam-se também à nossa própria prática docente, em pelo menos quatro sentidos: (i) estimulam a reflexão sobre o objeto e a natureza da Biologia e, assim, as maneiras como se procede o seu ensino na escola; (ii) colocam em suspensão a necessidade de superação do antagonismo reducionismo/holismo marcadamente presente nas explicações construídas pelas ciências; (iii) oferecem um convite ao Pensamento Complexo como forma de transitar em uma via média entre esses dois tipos de explicação que, de antagônicos, passam a ser complementares, (iv) estendem tal convite para uma compreensão igualmente complexa das relações entre a Biologia e a Física e a Química e, porque não, com outras áreas do conhecimento para além das Ciências da Natureza.

Nossa segunda conclusão envolve a dialógica do conhecimento. Ela significa a unidade simbiótica de duas lógicas que ao mesmo tempo se alimentam, se parasitam, competem entre si mutua e permanentemente. As noções de causa/efeito, objetivo/subjetivo, reducionismo/holismo, uno/múltiplo, especializado/generalista, uniforme/diverso, disciplinaridade/interdisciplinaridade, a princípio, se excluíam reciprocamente, quando, na verdade, são indissociáveis em uma mesma realidade (MORIN, 2012a).

Como exemplo, destacamos um aspecto importante na controvérsia sobre as posições explanatórias e o problema da fragmentação do conhecimento. É comum assumirmos o reducionismo como fragmentador e o holismo como integrador do conhecimento. Ao fazermos o resgate das condições de possibilidade que culminaram para a concepção desses dois tipos de explicação, percebemos o quanto cada um deles é necessário para dar conta dos diferentes problemas de pesquisa que não

somente a Biologia, mas a ciência como um todo demanda. O *princípio dialógico* nos impele a reconhecer que as duas noções estão constantemente operando para que avancemos na inteligibilidade dos mundos físico, biológico e humano. Tal princípio permite assumirmos racionalmente a associação de noções contraditórias para conceber um mesmo fenômeno complexo (MORIN, 2012a).

Reconhecemos que o princípio dialógico, assim como os demais princípios da Complexidade desenvolvidos neste trabalho como forma de auxiliar-nos na construção de nossas explicações e compreensões, são eles mesmos inexplicáveis e comportam um princípio central: o do inacabamento. “Comportando o princípio do inacabamento do conhecimento, o pensamento complexo permite um misterioso fortalecimento do mistério” (MORIN, 2012b). O que não pensamos, o que não conhecemos e o impensável e o incompreensível estão mais presentes do que nunca.

Finalmente, falta-nos transpor essas duas conclusões para o âmbito do ensino de Biologia. E fazemos isso propondo do conceito de **inter-poli-transbiologia** como forma de sintetizar as reflexões que temos desenvolvido até aqui.

Enquanto disciplina, grosso modo, a Biologia consiste em uma categoria organizada dentro do conhecimento científico. Mesmo inserida em um contexto mais amplo, é dotada de autonomia, pela delimitação de suas fronteiras, da linguagem em que ela se constitui, das técnicas que elabora e das quais se apropria e pelas teorias e conceitos centrais que são próprios do pensamento biológico. Como todas as demais ciências, a Biologia tem uma história: nascimento, institucionalização, evolução. Essa história, por sua vez, também se inscreve na história da própria vida e da sociedade, do mundo. Portanto, a Biologia nasce não apenas de um conhecimento e de uma reflexão interna sobre si mesma, mas também mediante outros conhecimentos externos (MORIN, 2012a).

A Biologia realiza a circunscrição de uma área de competência, a organização da vida, sem a qual uma diversidade de conhecimentos científicos teria sido impossível de ser construída. O objeto de estudo da Biologia, porém, não é uma coisa autossuficiente, mas dotado de ligações e solidariedades com outros objetos estudados por outras ciências e com o universo do qual ela mesma faz parte.

A abertura é, portanto, necessária. “Quando não se encontra solução em uma disciplina, a solução vem de fora da disciplina” (MORIN, 2012b, p. 107). Para o autor, certos conceitos científicos mantêm a vitalidade justamente porque se recusam ao fechamento disciplinar.

O exemplo da hominização e do ecossistema demonstram que, na história das ciências, há rupturas de fechamentos disciplinares, de avanço ou de transformações de disciplinas pela constituição de um novo esquema cognitivo [...]. O exemplo da biologia molecular demonstra que esses avanços e transformações podem acontecer pela invenção de novas hipóteses explicativas [...]. A conjunção das novas hipóteses e do novo esquema cognitivo permite articulações, organizadoras ou estruturais, entre disciplinas isoladas e permite conceber a unidade do que era desunido. (MORIN, 2012b, p. 111).

Esses exemplos evidenciam a constituição de um objeto e de um projeto, ao mesmo tempo interdisciplinar e transdisciplinar, o que permite criar o intercâmbio, a cooperação, a poli competência (MORIN, 2012b). Nicolescu (1999) estabelece as diferenças entre pluri, inter e transdisciplinaridade. Para o autor, a pluridisciplinaridade refere-se ao estudo de um objeto de uma mesma e única disciplina por diferentes disciplinas ao mesmo tempo. Isso enriqueceria o conhecimento do objeto pelo cruzamento de vários conhecimentos. Esse tipo de pesquisa agrega algo a mais em relação à disciplina em questão,

[...] porém este 'algo a mais' está a serviço apenas desta mesma disciplina. Em outras palavras, a abordagem pluridisciplinar ultrapassa as disciplinas, mas *sua finalidade continua inscrita na estrutura da pesquisa disciplinar*. (NICOLESCU, 1999, p.52).

Estamos, no âmbito da pluridisciplinaridade, operando em um primeiro nível que implica colocar em paralelo, estabelecer um mínimo de coordenação (POMBO, 2013). Apesar disso, sua finalidade continua inscrita na estrutura da pesquisa disciplinar (NICOLESCU, 1999).

Já a interdisciplinaridade exigiria uma convergência de pontos de vista (POMBO, 2013) e diz respeito “[...] à *transferência de métodos de uma disciplina para outra*.” (NICOLESCU, 1999, p. 52, grifo do autor). Trata-se de um intercâmbio de forma recíproca e coordenada de procedimentos e perspectivas metodológicas entre as disciplinas que buscam pensar seu objeto de conhecimento a partir da articulação com outras áreas.

Pombo (2013) considera que a interdisciplinaridade é um conceito que evocamos sempre que nos damos conta dos limites de nosso território de conhecimento, sempre que nos deparamos com aqueles tipos de problemas de maior magnitude cujo princípio de solução sabemos que exige a articulação de diferentes perspectivas. Para a autora, o princípio da interdisciplinaridade pode ser associado ao um princípio de reducionismo da ciência, que historicamente operou a divisão de cada uma das dificuldades em seu conjunto de elementos, partindo da ideia de que existe

um conjunto finito de elementos constituintes e que somente a análise de cada um desses elementos operacionaliza o todo, contribuindo, assim, para a disciplinarização. Nicolescu (1999), de certa forma, endossa essa ideia:

Como a pluridisciplinaridade, a interdisciplinaridade ultrapassa as disciplinas, *mas sua finalidade também permanece inscrita na pesquisa disciplinar*. Pelo seu terceiro grau (a transferência de métodos da matemática para o campo da física gerou a física-matemática...), a interdisciplinaridade chega a contribuir para o *big-bang* disciplinar (p. 54, grifo do autor).

A noção de transdisciplinaridade é, porém, radicalmente distinta das duas noções anteriores por sua finalidade: “[...] a compreensão do mundo presente é impossível de ser inscrita na pesquisa disciplinar” (NICOLESCU, 1999, P. 55). Enquanto a finalidade tanto da pluri quanto da interdisciplinaridade sempre é a pesquisa disciplinar. A transdisciplinaridade vai além das interações ou reciprocidades das disciplinas, situando-as no interior de um sistema global, onde não é possível identificar cada disciplina claramente.

À vista disso e da nossa maneira de conceber todas as coisas à luz da Complexidade, pensamos ser a Biologia uma ciência que congregue, em diferentes momentos, circunstâncias e soluções de problemas, a necessidade de operar ora disciplinarmente, ora em cooperação em diferentes níveis com outras ciências. Em algumas circunstâncias, poderá ser importante a fusão da Biologia com outra área. Em outras, todavia, esta operação poderá ser excessiva ou perigosa. Da mesma forma, o seu ensino ensaiaria este movimento. Uma inter-poli-transbiologia “[...] convida a um movimento, a um conhecimento em vaivém, que progride indo das partes ao todo e do todo às partes: o que é a nossa ambição comum” (MORIN, 2012b, p. 116). Afinal, de que serviriam todos os saberes parciais se não para formar uma configuração global, uma totalidade capaz de responder às nossas expectativas, nossos desejos, nossas interrogações?

Nossa proposta encontra fundamento naquilo que Morin (2012b) define como mais importante: “ecologizar” as disciplinas. E isso não é pouca coisa! Significa levar em conta tudo que é contextual à Biologia, inclusive as condições culturais e sociais, ou seja, investigar em que meio essas condições nascem, propõem novos problemas, transformam-se e operam, por consequência, transformações na própria Biologia. Para Morin (2012b, p. 115):

Não se pode demolir o que as disciplinas criaram; não se pode romper todo o fechamento: há o problema da ciência, bem como o problema da vida; é preciso que uma disciplina seja, ao mesmo tempo, aberta e fechada.

E a abertura e o fechamento são premissas da Complexidade. Nenhum conhecimento pode fechar-se em si mesmo, como uma ilha. Tampouco pode dilatar-se e pulverizar-se em inúmeros conhecimentos de maneira superficial. O conhecimento do conhecimento nos obrigará a navegar de modo permanente “[...] entre o risco da asfixia e o da dissolução nos problemas mais gerais e nos conhecimentos mais diversos” (MORIN, 2015, p. 27).

Por fim, encerramos nossa discussão. E ao fazê-lo, encerramos somente este texto, mas jamais a necessidade de argumentar mais e melhor. “Há implícitos, em toda a argumentação, que não foram, nem serão argumentados” (DEMO, 2002, p. 45). A teoria, ao mesmo tempo que busca fornecer uma explicação, as condições para a construção de novos conhecimentos, é sobretudo um convite a ampliar, rever, inovar, re/desconstruir. Assim,

Nosso conhecimento alcança a ignorância, mas enobrecida, pois não é mais a ignorância arrogante que se ignora, mas a ignorância nascida do conhecimento que se reconhece ignorante” (MORIN, 2012b, p. 292).

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Paulo Cesar Coelho. Introdução: o que é filosofia da biologia? In: ABRANTES, Paulo Cesar Coelho (Org). **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 11-36.

ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares. **A epistemologia da biologia na formação de pesquisadores**: compreensão sistêmica de fenômenos moleculares. 2011. (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2011.

ARAÚJO, Leonardo Augusto Luvison; ARAÚJO, Aldo Mellender. Michel Foucault e as condições de possibilidade do evolucionismo de Darwin. **Filosofia e História da Biologia**, v. 9, n. 2, p. 185-197, 2014.

BARBOUR, Rosaline. **Grupos Focais**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: **Edições 70**, 2016.

BECKER, Fernando. **Educação e construção do conhecimento**. Porto Alegre: Penso, 2012a.

BECKER, Fernando. **A epistemologia do professor**: o cotidiano da escola. Petrópolis: Vozes, 2012b.

BELLINI, Marta. Epistemologia da Biologia: para se pensar a iniciação ao ensino das Ciências Biológicas. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 88, n. 218, p. 30-47, 2007.

BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. **Ensino de Evolução e História do darwinismo**. 1991. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

CACHAPUZ, António; PRAIA, João; JORGE, Manuela. Da educação em ciências às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.

CAPRA, Fritjof; LUISI, Pier Luigi. **A visão sistêmica da vida**: uma concepção unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas. São Paulo: Cultrix, 2014.

CASSAB, Mariana; SELLES, Sandra Escovedo. A invenção da disciplina escolar Biologia no Colégio Pedro II: Um estudo de cadernos escolares da década de 1970. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009. v. 1. p. 1-12. Disponível em <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/702.pdf>. Acesso em 25 de maio de 2016.

CASSAB, Mariana; SELLES, Sandra Escovedo; SANTOS, Maria Cristina Ferreira; LIMA-TAVARES, Daniele. Análise de compêndios didáticos: tensões entre forças de estabilidade e mudança na história da disciplina escolar biologia (1963-1970). **Revista Teias**, v. 14, n. 28, p. 241-263, 2012.

CHALMERS, Alan. **O que é ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHASSOT, Attico. A ciência é masculina? É, sim senhora!... **Contexto e Educação**, v. 19, n. 71/72, p. 9-28, 2004.

CHINELLI, Maura Ventura; FERREIRA, Marcus Vinícius da Silva; AGUIAR, Luiz Edmundo Vargas. Epistemologia em sala de aula: a natureza da ciência e da atividade científica na prática profissional de professores de ciências. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 1, p. 17-35, 2010.

CODO, Wanderley (Coord.). **Educação: carinho e trabalho**. Petrópolis,RJ: Vozes, 1999.

CORRÊA, André Luis; ARAÚJO, Elaine Nicolini Nabuco; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade Caldeira. História e Filosofia da Biologia como ferramenta no Ensino de Evolução na formação inicial de professores de Biologia. **Filosofia e História da Biologia**, v. 5, n. 2, p. 217-237, 2010.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DEMO, Pedro. **Complexidade e aprendizagem: a dinâmica não linear do conhecimento**. São Paulo: Atlas, 2002.

DEMO, Pedro. **Praticar ciência: metodologias do conhecimento científico**. São Paulo: Saraiva, 2011.

DESCARTES, René. Discurso do método. In: **Descartes – Coleção Os Pensadores**. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1999. p. 33-100.

DOBZHANSKY, Theodosius. Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution. **American Biology Teacher**, v. 35, n. 3, p. 125-129, 1973.

DUARTE, Regina Horta. Biologia, natureza e República no Brasil nos escritos de Mello Leitão (1922-1945). **Revista Brasileira de História**, v. 29, n. 58, p. 317-340, 2009.

EL-HANI, Charbel Niño. **Níveis da ciência, níveis da realidade: evitando o dilema holismo/reducionismo no ensino de ciências e biologia**. 2000. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2000.

EL-HANI, Charbel Niño; PEREIRA, Antônio Marcos. Reducionismo ou holismo? Desperguntando a questão. **Ideação**, vol. 3, n. 1, p. 69-100, 1999.

EL-HANI, Charbel Niño. Uma ciência da organização viva: Organicismo, emergentismo e ensino de biologia. In: SILVA FILHO, Waldomiro José (Org.). **Epistemologia e Ensino de Ciências**. Salvador: Arcádia, 2002. p. 199-244.

EL-HANI, Charbel Niño; KAWASAKI, Clarice Sumi. **Uma análise das definições de vida encontradas em livros didáticos de Biologia do Ensino Médio**. In: Coletânea do VIII Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia, 2002.

EL-HANI, Charbel Niño; TAVARES, Eraldo José Madureira; ROCHA, Pedro Luís Bernardo da. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 265-313, 2004.

EMMECHE, Claus; EL-HANI, Charbel Niño. Definindo vida. In: EL-HANI, Charbel Niño; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Orgs.). **O que é vida? Para entender a Biologia do século XXI**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000. p. 31-56.

FARIA, Frederico Felipe de Almeida. Georges Cuvier: história natural em tempos pré-darwinianos. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v.17, n.4, p.1031-1034, 2010.

FLACH, Pâmela Ziliotto Sant'Anna; BECKER, Fernando. Biologia, conhecimento e consciência: articulações possíveis na construção da aprendizagem. **Educação**, v. 39, n. 1, p. 74-82, 2016.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009a.

FLICK, Uwe. **Qualidade na pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009b.

FLICK, Uwe. Entrevista episódica. In: BAUER, Martin W.; GASKELL, George (Orgs.) **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. Petrópolis: Vozes, 2014. p. 114-136.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FOUCAULT, Michel. **As palavras e as coisas: uma arqueologia das ciências humanas**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

FOUREZ, Gérard. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, pp. 109-123, 2003.

GALEFFI, Dante Augusto. O rigor nas pesquisas qualitativas: uma abordagem fenomenológica em chave disciplinar. In: MACEDO, Roberto Sidnei; GALEFFI, Dante Augusto; PIMENTEL, Álamo. **Um rigor outro sobre a questão da qualidade na pesquisa qualitativa: educação e ciências antropológicas**. Salvador: EDUFBA, 2009. p.13-73. Disponível em <http://books.scielo.org>, acesso em 19 de fevereiro de 2018.

GALLEGO TORRES, Adriana Patricia; GALLEGO BADILLO, Romualdo. Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 1, p. 85-98, 2007.

GIL PÉREZ, Daniel. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1992.

GIL-PÉREZ, Daniel.; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

GOULD, Stephen Jay. The evolution of life on the Earth. **Scientific American**, v. 271, n. 4, p. 84-91, 1994.

GRAY, David. **Pesquisa no mundo real**. Porto Alegre: Penso, 2012.

GRÜN, Mauro. Ética e educação ambiental: a conexão necessária. Campinas: Papirus, 2012.

HEISENBERG, Werner. **Física y filosofía**. Buenos Aires: La Isla, 1959.

HULL, David. **Filosofia da ciência biológica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1975.

KRASILCHIK, Myriam. **Prática de Ensino de Biologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

LOPES, Alice Casimiro Ribeiro. **Conhecimento escolar: ciência e cotidiano**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999.

MARANDINO, Martha; SELLES, Sandra Escovedo; FERREIRA, Marcia Serra. **Ensino de biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. São Paulo: Cortez, 2009.

MARICATO, Fúlvia Eloá; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. O conceito de interação Biológica/ecológica: contribuição aos estudos em epistemologia da biologia e ao ensino de Biologia. **Acta Scientiarum**, v. 39, n. 4, p. 441-451, 2017.

MARTINEZ, Sergio, Fernando. Reduccionismo em biologia: uma tomografia da relação biologia-sociedade. In: ABRANTES, Paulo C. et al. **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 37-52.

MATTHEWS, Michael. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MAZZOCCHI, Fulvio. The limits of reductionism in biology: what alternatives? **Electronic Journal for Philosophy**, v. 11, p. 1-20, 2011.

MAYR, Ernst. **Desenvolvimento do pensamento biológico**: diversidade, evolução e herança. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1998.

MAYR, Ernst. **Biologia, ciência única**: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MAYR, Ernst. **Isto é biologia**: a ciência do mundo vivo. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida. **História da construção do conceito de evolução biológica**: possibilidades de uma percepção dinâmica da ciência pelos professores de Biologia. 2004. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) - Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2004.

MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida. **O conceito de organismo**: uma introdução à epistemologia do conhecimento biológico na formação de graduandos de biologia. 2009. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2009.

MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Niño. Evolução. In: EL-HANI, Charbel Niño; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. **O que é vida?** Para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000. p. 153-185.

MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Niño. **Evolução**: o sentido da biologia. São Paulo: Editora Unesp, 2005.

MORAES, Roque. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F. "História e epistemologia da física" na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007.

MORIN, Edgar. **Para sair do século XX**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2000.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2011a.

MORIN, Edgar. **O método 6**: ética. Porto Alegre: Sulina, 2011b.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012a.

MORIN, Edgar. **O método 5**: a humanidade da humanidade. Porto Alegre: Sulina, 2012b.

MORIN, Edgar. **O método 1: a natureza da natureza**. Porto Alegre: Sulina, 2013.

MORIN, Edgar. **Meus filósofos**. Porto Alegre: Sulina, 2014a.

MORIN, Edgar. **Ciência com consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014b.

MORIN, Edgar. **O método 3: conhecimento do conhecimento**. Porto Alegre: Sulina, 2015.

NAVARRO, Pablo. A metáfora do “holograma social”. In: CASTRO, Gustavo de (Org.). **Ensaio de Complexidade**. Porto Alegre: Sulina, 2002. p. 237-247.

NASCIMENTO JR., Antônio Fernandes; SOUZA, Daniele Cristina; CARNEIRO, Marcelo Carbone. O conhecimento biológico nos documentos curriculares nacionais do ensino médio: uma análise histórico-filosófica a partir dos estatutos da biologia. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 223-243, 2011.

NICOLESCU, Barasab. **O manifesto da transdisciplinaridade**. São Paulo: TRIOM, 1999.

OLIVEIRA, Clara Costa. Holismo: aprender e educar. In: **Diversidade e Identidade – Actas da 1ª conferência internacional de filosofia da educação**. Porto: Universidade do Porto, 2000. p. 287-292.

PIAGET, Jean. **Biologia e conhecimento: ensaio sobre as relações orgânicas e os processos cognitivos**. Petrópolis: Vozes, 1973.

PIAGET, Jean. **Para onde vai a educação?** Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1977.

PIAGET, Jean. **Introducción a la epistemología genética: el pensamiento biológico, psicológico y sociológico**. Buenos Aires: Paidós, 1987.

POMBO, Olga. 2013. Epistemología de la interdisciplinariedad. La construcción de un nuevo modelo de comprensión. **Interdisciplina**, v.1, n. 1, p. 21-50, 2013.

POPLIN, Mary. Holistic/Constructivist Principles of the Teaching/Learning Process: Implications for the Field of Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, v. 21, n. 7, p. 401-416, 1988.

PRAIA, João; CACHAPUZ, António; GIL-PÉREZ, Daniel. Problema, Teoria e Observação em Ciência: para uma orientação epistemológica da Educação em Ciência. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002.

PRIGOGINE, Ilya. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

RICARDO, Elio Carlos; ZYLBERSZTAJN, Arden. Os parâmetros curriculares nacionais para as ciências do ensino médio: uma análise a partir da visão de seus elaboradores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.13, n.3, p. 257-274, 2008.

SAMPIERI, Roberto Hernandez; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. **Metodologia de Pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, Boaventura Sousa. **Um discurso sobre as ciências**. Porto: Edições Afrontamento, 2010.

SANTOS, Maria Cristina Ferreira; SELLES, Sandra Escovedo. A produção da disciplina escolar história natural na década de 1930: os livros didáticos de Waldemiro Potech para o ensino secundário. **Cadernos de Pesquisa em Educação – PPGE/UFES**, v. 19, n. 40, p. 45-68, 2014.

SILVEIRA, Fernando Lang. A filosofia da ciência e o ensino de ciências. **Em Aberto**, v. 11, n. 55, p. 36-41, 1992.

SMOCOVITIS, Vassiliki Betty. Unifying Biology: The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology. **Journal of the History of Biology**, v. 25, n. 1, p. 1-65, 1992.

SPIGUEL, Juliana; SELLES, Sandra Escovedo. Cândido Firmino de Mello Leitão e o ensino de história natural na década de 1930: um intelectual a serviço da escola. **Revista HISTEDBR On-line**, n. 53, p. 115-132, 2013.

SPIGUEL, Juliana; SELLES, Sandra Escovedo. A disciplina escolar história natural/biologia e os livros didáticos de Cândido Firmino de Mello Leitão. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011, Campinas. **Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Campinas: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011. v. 1. p. 1-7. Disponível em <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R1511-1.pdf>. Acesso em 30 de maio de 2016.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional**. Petrópolis: Vozes, 2002.

TREWAVAS, Anthony James. A brief history of systems biology. "Every object that biology studies is a system of systems." Francois Jacob (1974). **Plant Cell**, v. 18, n. 10, p. 2420-2430, 2006.

WRIGHT, Erik Olin; LEVINE, Andrew; SOBER, Elliot. **Reconstructing marxism: essays on explanation and the theory of history**. London: Verso, 1992.

APÊNDICE A

Guia de tópicos para as discussões nos grupos focais

TÓPICOS INICIAIS

Atividade 1.



Fonte: <http://blog.clickgratis.com.br/uploads/k/kerleysilvia/421512.jpg>

Acesso em 29 de setembro de 2016.

- O que vem espontaneamente à sua cabeça a partir desta charge?
- É possível definir o que é um conhecimento científico e o que não é?
- Como a imagem se relaciona com o contexto da escola?

Atividade 2.



Fonte:

<https://administrandocomdanilopereira.files.wordpress.com/2012/12/charge1.jpg?w=593>

Acesso em 28 de setembro de 2016.

Conforme ilustra a tirinha sobre tecnologia, diariamente, uma série de conhecimentos novos é produzida não apenas nesse campo, mas nas mais diversas áreas da ciência. Algumas pessoas consideram que os conhecimentos científicos são descobertos, enquanto outras consideram que a ciência cria, inventa conhecimentos e teorias. Sobre esse assunto, selecione o item que melhor se aproxima da sua concepção e discuta com seus colegas.

Os cientistas *descobrem* as teorias científicas*

- A. Porque a ideia já estava lá para ser descoberta.
- B. Porque a teoria científica é baseada em fatos experimentais.
- C. Os cientistas inventam métodos para encontrar teorias.
- D. Alguns cientistas podem tropeçar numa teoria por acaso, descobrindo-a a partir de fatos que eles já conhecem.

Os cientistas *inventam* as teorias científicas*

- E. Porque uma teoria é uma interpretação de fatos experimentais que os cientistas descobrem.
- F. Porque as invenções (teorias, conhecimentos) vêm da mente – nós as criamos.

TÓPICOS DE TRANSIÇÃO

Questão 1. Livros-texto de ciência frequentemente representam o átomo como um núcleo central composto de prótons (partículas carregadas positivamente) e nêutrons (partículas neutras), com elétrons (partículas carregadas negativamente) orbitando ao redor daquele núcleo. Qual o grau de certeza que os cientistas têm acerca da estrutura do átomo? Que evidência específica, ou tipos de evidência, você pensa que os cientistas utilizaram para determinar com que um átomo se parece?*

Questão 2. Após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica (por exemplo, a teoria atômica, a teoria da evolução), a teoria pode transformar-se?

- a) Se você acredita que as teorias científicas não mudam, explique por que. Defenda sua resposta com exemplos.
- b) Se você acredita que as teorias científicas de fato mudam: (b1) Explique por que as teorias mudam. (b2) Explique por que nós nos preocupamos em aprender teorias científicas, considerando que as teorias que aprendemos poderão mudar. Defenda sua resposta com exemplos.**

TÓPICOS ESPECÍFICOS

Perguntas para discussão

- O que é específico da Física, da Química e da Biologia e que evidencia a autonomia de cada uma dessas ciências?
- É possível estabelecer uma hierarquia entre essas disciplinas? Alguma ciência que pudesse servir de fundamento para as demais ou não?
- O que seria comum às ciências físicas, químicas e biológicas que justificasse a sua articulação nas Ciências da Natureza (CN)?

- No dia-a-dia da sala de aula, em que aspectos a integração das disciplinas na área das Ciências da Natureza contribui para o ensino? Em que aspectos ela o dificulta?

- Existiriam alguns temas/conceitos que fazem mais sentido de serem compreendidos através de uma visão mais ampla das CN? Exemplo?

- Que temas/conceitos fazem mais sentido serem compreendidos dentro da especificidade de cada ciência?

FECHAMENTO

- Abrir espaço para falas complementares.

- Agradecer a participação.

- Disponibilizar informações para contato com a pesquisadora.

* Adaptado do questionário VOSE (Views on science and education), proposto por Chen (2006).

** Questões adaptadas do questionário aberto VNOS-C (Views of the Nature of Science, Form C), na sua versão traduzida por El-Hani e colaboradores (2004).

Informação contextual sobre o grupo e os participantes

Data da realização da discussão:

Local:

Duração:

Peculiaridades da entrevista:

Participante 1

Indicadores para identificar o entrevistado:

Gênero do entrevistado:

Idade do entrevistado:

Onde nasceu e viveu (cidade/zona rural):

Formação (curso/instituição/ano)

Tempo de docência:

Carga horária semanal em sala de aula:

Pós-Graduação:

Participou de alguma atividade de formação no último ano? Se sim, qual(is):

Participante 2

Indicadores para identificar o entrevistado:

Gênero do entrevistado:

Idade do entrevistado:

Onde nasceu e viveu (cidade/zona rural):

Formação (curso/instituição/ano)

Tempo de docência:

Carga horária semanal em sala de aula:

Pós-Graduação:

Participou de alguma atividade de formação no último ano? Se sim, qual(is):

APÊNDICE B***Guia para entrevista episódica***

S1. O que a Biologia significa para você?

E2. Quando você olha para o passado, você lembra qual foi o seu primeiro contato com a Biologia?

Poderia, por favor, falar sobre isso?

E3. Você se lembra em que ocasião optou pela graduação em Biologia?

Quais motivos o levaram a isso? Quais eram as suas expectativas?

S4. O que faz com que a Biologia possa ser reconhecida como uma ciência? Poderia me dar exemplos?

S5. Você considera que existem semelhanças entre a Biologia enquanto ciência e a Biologia enquanto disciplina ensinada na escola?

Poderia me contar uma situação que evidencie seu ponto de vista?

E6. Atualmente, o ensino de Biologia é associado à Física e à Química dentro da grande área das ciências na natureza. Como você lida com essa associação no cotidiano da sala de aula?

Em que situações essa associação é evidenciada e em que outras ela fica em segundo plano?

E7. A tendência de englobar disciplinas afins em macro áreas do conhecimento é cada vez mais discutida. Se a Biologia, a Química e a Física fossem extintas do currículo escolar para dar lugar a uma disciplina unificada como Ciências da Natureza, como você encararia essa mudança?

E8. A Biologia envolve o estudo de diferentes áreas: a citologia, a zoologia, a botânica, a genética...

Quais temas você considera mais fáceis de serem ensinados e aprendidos?

Você poderia me explicar por que?

Você poderia me contar como esses temas foram desenvolvidos em uma aula mais recente?

S9. Na sua opinião, é mais fácil aprender a Biologia estabelecendo uma integração entre essas diferentes áreas ou através do aprofundamento de uma área de cada vez?

Poderias me descrever uma situação de sala de aula para exemplificar seu ponto de vista?

S10. Em nível molecular, a Biologia lida basicamente com fenômenos físicos e químicos (reações químicas, rotas metabólicas que ocorrem no ambiente celular, por exemplo).

Qual você considera a melhor maneira de ensinar esses tópicos?

Explique sua resposta.

S11. A decomposição dos fenômenos biológicos, partindo de conceitos mais simples até os mais complexos, contribui para a aprendizagem dos alunos ou a dificulta?

Por quê?

S12. A Biologia enquanto ciência emprega diferentes métodos de pesquisa. Você considera que isso pode favorecer o uso de diferentes abordagens metodológicas pelo professor ou não? Explique, por favor, sua resposta. Se preferir, cite exemplos.

<i>Informação contextual sobre a entrevista e o entrevistado</i>	
Data da entrevista:	
Local da entrevista:	
Duração da entrevista:	
Indicadores para identificar o entrevistado:	
Gênero do entrevistado:	Idade do entrevistado:
Onde nasceu e viveu (cidade/zona rural):	
Formação (curso/instituição/ano)	
Tempo de docência:	
Carga horária semanal em sala de aula:	
Pós-Graduação:	
Participou de alguma atividade de formação no último ano? Se sim, qual(is):	
Peculiaridades da entrevista:	

Estímulos narrativos que tratam de conhecimento episódico são indicados pela letra “E”; as questões que tratam do conhecimento semântico são marcadas com a letra “S”.

APÊNDICE C

INFORMAÇÃO AOS PARTICIPANTES



Tese de Doutorado

***EPISTEMOLOGIA, COMPLEXIDADE E CIÊNCIAS DA NATUREZA
O ENSINO DE BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA***

- ✓ Qual o objetivo principal da pesquisa?
Investigar quais as concepções dos professores sobre a Ciência e a Biologia e como essas influenciam sua prática docente.
- ✓ Quem irá realizá-la?
A pesquisa será realizada pela doutoranda Pâmela Ziliotto Sant'Anna Flach, sob orientação do professor Dr. José Cláudio del Pino. A pesquisadora está vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências – Química da Vida e Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ✓ A quem se está pedindo que participe?
A pesquisa envolve a realização de entrevistas individuais e discussões em grupo com professores Licenciados em Ciências Biológicas, Química e Física que atuem em escolas de Ensino Médio da rede pública estadual de ensino em Porto Alegre.
- ✓ Que tipo de informação se busca?
Informações acerca das concepções de biologia e de conhecimento biológico dos participantes e possíveis influências dessas concepções sobre sua prática docente. Buscamos conhecer também a organização e aspectos didáticos-metodológicos das práticas docentes na sua interface com a epistemologia da ciência e da biologia.
- ✓ Quanto tempo do participante está sendo solicitado?
As discussões nos grupos focais duram cerca de 1 hora e meia e envolvem a participação de professores de Biologia, Física e Química. A entrevista individual, realizada apenas com professores de Biologia, é estimada em 50 minutos, podendo variar de acordo com a participação de cada professor(a).
- ✓ A participação no estudo é voluntária?

Sim. Os professores participarão das discussões e entrevistados mediante seu consentimento para tal, podendo interromper sua participação a qualquer momento sem nenhum ônus.

- ✓ Responder a todas as perguntas da entrevista e participar das discussões em grupo é um ato voluntário?

Sim, todas as perguntas da entrevista e das discussões serão respondidas voluntariamente.

- ✓ Quem terá acesso aos dados quando tiverem sido coletados.

Após o término das discussões e entrevistas, os dados serão mantidos confidencialmente em um lugar seguro e em um computador protegido por senha, na forma de cópias eletrônicas ou físicas de transcrições e gravações de áudio. Esses dados estarão acessíveis à pesquisadora.

- ✓ Como se preservará o anonimato dos respondentes.

Embora a informação obtida durante o estudo possa ser publicada, o(a) professor(a) participante da pesquisa não será identificado(a) e seus resultados pessoais permanecerão confidenciais.

Pesquisadora: Pâmela Ziliotto Sant'Anna Flach

Contato do pesquisadora: pamelazsf@gmail.com, celular (51) 99239.6108.

Programa de Pós-graduação: Educação em Ciências – Química da Vida e Saúde, UFRGS, educacaoemciencias@ufrgs.br, telefone (51) 3308.5538, (51) 3308.5540.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio

Grande do Sul: etica@propesq.ufrgs.br, telefone (51) 3308.3738.

Local e data: _____

Assinatura da pesquisadora

APÊNDICE D

FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO DE PARTICIPANTES

Tese de Doutorado
EPISTEMOLOGIA, COMPLEXIDADE E CIÊNCIAS DA NATUREZA
O ENSINO DE BIOLOGIA NA ESCOLA BÁSICA

- ✓ Li o folheto de Informação aos Participantes que descreve a natureza e o propósito da pesquisa e concordo em participar.
- ✓ Entendo o propósito da pesquisa e a natureza de meu envolvimento nela.
- ✓ Entendo que posso me retirar da pesquisa a qualquer momento e que isso não me acarretará nenhum ônus, agora ou no futuro.
- ✓ Entendo que, embora a informação obtida durante o estudo possa ser publicada, não serei identificado(a) e meus resultados pessoais permanecerão confidenciais.
- ✓ Entendo que posso ser gravado(a) durante qualquer entrevista e que me reservo o direito de interromper a gravação a qualquer momento que achar necessário.
- ✓ Entendo que os dados serão mantidos confidencialmente em um lugar seguro e em um computador protegido por senha, na forma de cópias eletrônicas ou físicas de transcrições e gravações de áudio. Esses dados estarão acessíveis à pesquisadora.
- ✓ Entendo que posso entrar em contato com a pesquisadora se julgar que são necessárias mais informações sobre o estudo e que posso contatar a Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul se quiser fazer alguma reclamação relacionada a meu envolvimento no estudo.

Pesquisadora: Pâmela Ziliotto Sant'Anna Flach

Contato da pesquisadora: pamelazsf@gmail.com, celular (51) 99239.6108.

Programa de Pós-graduação: Educação em Ciências – Química da Vida e Saúde, UFRGS, educacaoemciencias@ufrgs.br, telefone (51) 3308.5538, (51) 3308.5540.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: etica@propesq.ufrgs.br, telefone (51) 3308.3738.

Nome completo do(a) participante _____

Local e data: _____

Assinatura do(a) participante da pesquisa