CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

EDUCAÇÃO CIENTÍFICA, HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA E CURRÍCULO: ARTICULAÇÕES POSSÍVEIS

Cristiano Barbosa de Moura

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientadora: Andreia Guerra de Moraes

Coorientadora: Tânia de Oliveira Camel

Rio de Janeiro
Março de 2019

EDUCAÇÃO CIENTÍFICA, HISTÓRIA CULTURAL DA CIÊNCIA E CURRÍCULO: ARTICULAÇÕES POSSÍVEIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciência, Tecnologia e Educação.

Cristiano Barbosa de Moura

Banca Examinadora:

Presidente, Professora Dra. Andreia Guerra de Moraes (CEFET/RJ) (Orientadora)

Professora Dra. Tânia de Oliveira Camel (FIOCRUZ) (Coorientadora)

Professor Dr. José Cláudio de Oliveira Reis (UERJ / CEFET/RJ)

Professora Dra. Gloria Regina Pessôa Campello Queiroz (UERJ / CEFET/RJ)

Professora Dra. Isabel Gomes Rodrigues Martins (UFRJ)

Professor Dr. Ivã Gurgel (USP)

Professor Dr. Agustín Aduríz-Bravo (UBA – Universidad de Buenos Aires)

Rio de Janeiro
Março de 2019

CEFET/RJ – Sistema de Bibliotecas / Biblioteca Central

M929 Moura, Cristiano Barbosa de
Educação científica, história cultural da ciência e currículo : articulações possíveis / Cristiano Barbosa de Moura.—2019.
210f. : il. (algumas color.) ; enc.

Tese (Doutorado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2019.
Bibliografia : f. 193-210
Orientadora : Andreia Guerra de Moraes
Coorientadora : Tânia de Oliveira Camel

1. Ciência, tecnologia e sociedade. 2. Currículos. 3. Política e educação. 4. Química orgânica - História. I. Moraes, Andreia Guerra de (Orient.). II. Camel, Tânia de Oliveira (Coorient.). III. Título.

CDD 600

Elaborada pela bibliotecária Mariana Oliveira CRB-7/5929

Aos severinos e severinas desse amarrotado Brasil, que com seus impostos financiaram meus estudos, realizados exclusivamente em espaços públicos, desde a pré-escola até o doutorado.

Ao meu avô, Antônio Barbosa da Silva (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Maria e Linaldo. Vocês nunca mediram esforços para que eu e meu irmão pudéssemos voar longe, ainda que às vezes não entendessem por que bater tanto as asas e querer ir tão alto quanto fazer um doutorado, algo inimaginável para determinados estratos sociais neste país há cerca de uma década atrás. A educação foi a ferramenta de transformação da nossa realidade. A opção por querer voar tão alto e bater as asas tão forte para alcançar esse objetivo está, em parte (assim espero), justificada nessa tese. Uso aqui minha voz para tentar dizer *o que se cala*; é, portanto, um grito, que embora *sozinho não teça uma manhã*, quer rememorar, através da minha própria história oculta por trás da materialidade das palavras dessa tese, que *se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda*. Então, pai e mãe, eu quis voar alto para que minha voz, inescapavelmente carregando outras e muitas vozes, pudesse (e possa) ser ouvida.

Agradeço ao meu irmão, Leandro, pelo apoio e pela alegria de ter me dado como afilhados seus dois lindos filhos, bem como à minha cunhada, Denise. Foi nos abraços e na brincadeira despretensiosa do Antônio e do Caio que tive o prazer de poder, muitas vezes, recarregar as minhas baterias. Agradeço aos primos e primas, tios e tias, avôs e avós, por serem presença mesmo à distância, em alguns casos. Ao meu avô Antônio, que nos deixou nesse período de escrita da tese e que agora olha lá do céu o primeiro neto a chegar aos momentos finais dessa longa jornada acadêmica.

Agradeço às minhas *orientadoras maravilhosas*, Andreia e Tânia. À Andreia por ser uma grande inspiração para mim e para o nosso grupo, por acreditar muito no trabalho que desenvolvemos desde o mestrado, por compartilhar lutas e angústias nesse mundo desigual. Por ter guiado-me no caminho de aprendizado como quem ensina a andar de bicicleta: no início, a paciência de quem precisa estar sempre junto, ensinando, e, com o passar do tempo, a liberdade e parceria de quem já confia no que ensinou. À Tânia por ser uma criteriosa leitora desse e de outros trabalhos, por compartilhar sem reservas tudo (e não é pouco!) o que sabe de História das Ciências, por me apresentar ao fantástico trabalho de Ursula Klein, pela escuta atenta, pelo apoio, suporte e incentivo constantes, e por aceitar orientar esse trabalho! Obrigado às duas pelo carinho e pela afetuosa, cuidadosa e respeitosa relação que construímos. Vocês são pessoas incríveis e eu me sinto muito privilegiado de convivermos de perto.

Agradeço aos meus amigos, o *povo* de fé/bar/viagens/vida, Celso, Nathalia, Amanda, Diego e Eduardo – por me dar o privilégio de estarem sempre por perto; aos *queridos do CEFET* pelas risadas e polêmicas compartilhadas, Carla, Julia, Luiza e Vitor

(afilhados <3); aos amigos do NIEHCC por tudo, apesar de achar que muitos de vocês cometem bullying frequente comigo (aqui tem DENÚNCIAA!!!), Bruno, Hermann, Priscila, Mary, Wagner, Iamni, Thiago, Catalina, Emanuel, Abigail, Juliana, Nathan e Fabiano. Aliás, ao Fabiano e Spoli___ (preencha aqui com seu sufixo) pelas viagens que, sem dúvida, deixaram histórias para contar (algumas talvez não, rs). Ao Roberto pelas conversas acadêmicas, não-acadêmicas, pelas parcerias, pelas zueiras ursólico-crossfiteiras e pelos congressos, cafés, carnavais e burocracias que vivemos juntos nesse período e ainda viveremos (ok, as burocracias espero que não). Aos amigos e colegas que o CEFET me deu, do médio à PG, do Maracanã a Petrópolis, ao amigo Felipe Ferreira, por ser esse irmãozão que encontrei perdido por aí. Aos colegas e amigos docentes do campus Petrópolis e do campus Maracanã. Aos amigos da Escola Parque, especialmente à Renata pelo incentivo e presença constantes. Aos do IM-UFRJ, onde tanto aprendi profissionalmente, do IQ-UFRJ, o início da minha vida acadêmica no Ensino de Química e do CAp UFRJ, onde vivi meus primeiros passos no exercício da docência. Aos amigos das Escolas Municipais Francisco Manuel e Mario Faccini. Aos colegas e amigos feitos pela vida acadêmica e não-acadêmica espalhados por esse enorme Brasil. À MSBQEE. Aos amigos Thomas e Fredy que gentilmente revisaram o resumen. Outros muitos que não vejo há bastante tempo. Enfim, o que eu queria mesmo é agradecer a todos os amigos/as e fazer um brinde à amizade! É por meio do convívio com o outro-diferente que nós crescemos e amadurecemos. E vocês foram e são, sem dúvida, peças fundamentais nessa estrada, que continua.

Agradeço aos meus alunos, os de ontem, os de hoje e os do futuro. Esse trabalho não teria sentido se não fosse por e para vocês. E queria dizer que embora tenha sido uma delícia para a escrita da tese que eu ficasse dois anos fora da sala de aula, também foi uma dor estar longe do convívio diário com vocês. Mas avisa aí que estou voltando cheio de novas ideias e memes na bagagem. E talvez um coração mais amolecido na hora de corrigir as provas (eu disse TALVEZ!).

Agradeço aos meus professores durante o mestrado e doutorado, que muito contribuíram para a minha formação acadêmica: Gloria Queiroz, José Claudio, Álvaro Chrispino e Marco Braga. Ao professor Álvaro, ainda, pelo grande apoio em todas as questões administrativas e acadêmicas enquanto coordenador, pelo apoio e incentivo de sempre. Agradeço à UERJ, na figura das professoras Rita Frangella e Elizabeth Macedo e dos colegas da disciplina Teorias de Currículo 2016.1, pelo que aprendi sobre teoria curricular. A UERJ resistirá sempre! Agradeço aos meus professores, desde o jardim de infância até a pós-graduação – professores do município, do CEFET/RJ e da

UFRJ. Sem vocês, eu não teria chegado nem à metade dessa estrada; os sucessos obtidos até aqui são fruto da dedicação de vocês à educação pública de qualidade e por escolher, sempre, educar com amor. Obrigado por tudo! Ao professor Steve Alsop, o inglês mais carioca que já conheci, pela recepção calorosa na gelada Toronto e por tudo e todos a que me deu oportunidade de conhecer na minha temporada por lá. O desafio de fazer caber o casaco que me emprestou continua valendo! Ao Thomas, Leticia e Lucas, que me acolheram por lá e ajudaram a dar um toque de brasilidade na multicultural Toronto!

Agradeço aos membros da banca: ao professor José Cláudio por seus grandes ensinamentos em História das Ciências e educação e sua presença insubstituível em todas as etapas da minha formação, além de ser essa pessoa gentil e descontraída com quem é sempre um prazer conversar. Ao professor Ivã, por ser interlocutor desse trabalho desde os estágios mais iniciais, e por ser também companheiro de luta política durante esses tempos sombrios. Ao professor Agustín, pelas oportunidades de troca acadêmica e papos descontraídos durante os diversos congressos que compartilhamos. À professora Gloria, pela marca positiva e inspiração fornecida em toda a minha trajetória acadêmica na pós-graduação e pelas contribuições para a tese. À professora Isabel pelas generosas contribuições à tese. A todos e todas, o meu muito obrigado por aceitarem fazer parte dessa banca e contribuir sobremaneira com seus valorosos comentários.

Agradeço ao CEFET/RJ, por tudo o que, simbólica e concretamente, representa na minha história pessoal, profissional e acadêmica, desde o ensino médio até o Doutorado e pela concessão de afastamento por dois anos, o que me deu a oportunidade de cursar parte do Doutorado estando afastado das atribuições de ensino e, ainda, realizar um estágio no exterior.

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro concedido para passar o período em estágio de doutoramento sanduíche na York University (Canadá). Desejo que no futuro próximo este apoio não seja tão restrito quanto foi na ocasião do edital em que concorri, onde tantas propostas meritórias foram indeferidas por indisponibilidade orçamentária. Não há como pensar em um futuro sustentável, justo e igualitário sem o investimento em ciência, tecnologia e, principalmente, educação. Por acreditar nisso, faço deste texto uma possibilidade de continuar lutando por esse ideal.

Não serei o poeta de um mundo caduco.
Também não cantarei o mundo futuro.
Estou preso à vida e olho meus companheiros.
Estão taciturnos mas nutrem grandes esperanças.
Entre eles, considero a enorme realidade.
O presente é tão grande, não nos afastemos.
Não nos afastemos muito, ***vamos de mãos dadas****.*

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Educação Científica, História Cultural da Ciência e Currículo: Articulações Possíveis

Nesta tese de natureza teórica, considerando o atual distanciamento do campo da Educação Científica em relação à demanda de politização apresentada em alguns trabalhos da literatura, defendemos que a História Cultural das Ciências pode ser um caminho para diminuir o déficit político da Educação em Ciências através da decolonização do currículo, o que nos permitiria contar outras histórias sobre as ciências na educação científica. Para realizar essa defesa, iniciamos com um estudo sobre a ideia de politização na Educação em Ciências na literatura. Baseando-nos na leitura decolonial de Boaventura de Sousa Santos, exploramos o conceito de crise da modernidade em sua obra, realizando articulações com a Educação em Ciências. Também utilizando os conceitos de sociologia das ausências e ecologia de saberes, tecemos articulações possíveis para a educação em ciências em um viés histórico. Para acomodar essas articulações dentro da trajetória da área de Educação em Ciências, procedemos a uma análise do conceito Natureza da Ciência e seus pressupostos na literatura, buscando entender, através de conceitos da Teoria de Currículo, o quanto alguns modelos se aproximam ou se afastam da perspectiva política e politizante que buscamos na tese. Aprofundamos a análise da História Cultural da Ciência enquanto movimento historiográfico e, cruzando referenciais da História Cultural da Ciência e dos Science Studies com os da Educação em Ciências, propomos uma interpretação para o conceito de prática científica desenhando, a partir dessa discussão, implicações para a Educação em Ciências. Por último, procedemos à construção de um episódio histórico da Química Orgânica, como forma de ilustrar os conceitos propostos construídos ao longo da tese. Ao final, buscamos apontar como o episódio desenvolvido se articula com elementos da tese a ser defendida e expõe tensões e possibilidades para abordagens históricas para a Educação Científica que pretendam seguir a trilha da literatura que nós optamos por seguir neste trabalho.

Palavras-chave: Educação em Ciências; Teorias de Currículo; Politização; Decolonização; História Cultural da Química Orgânica

ABSTRACT

Science Education, Cultural History of Science and Curriculum: possible entanglements

This thesis is a theoretical work in which, considering the current distance from the field of Science Education to the demand for politicization presented in Science Education Research, we argue that the Cultural History of Sciences can be a way to reduce the political deficit of Science Education through decolonization of the curriculum, which would allow us to tell other stories about science in science education. To carry out this defense, we started with a study on the idea of politicization in Science Education in literature. Based on the decolonial view of Boaventura de Sousa Santos, we explored the concept of Modernity crisis in his work, performing articulations with Science Education. Also using the concepts of sociology of absences and ecology of knowledge, we weave possible entanglements for science education in a historical approach. In order to accommodate these articulations within the area of Science Education, we proceed to an analysis of the Nature of Science as a concept and its assumptions in the literature, trying to understand, through the concepts of Curriculum Theory, how some models approach or distance themselves from the politicizing perspective we seek in the thesis. We deepen the analysis of the Cultural History of Science as a historiographic movement and, crossing the Cultural History of Science and Science Studies references with those of Science Education, we propose an interpretation for the scientific practice concept, drawing, from this discussion, implications for Science Education. Finally, we proceed to the construction of a historical episode on Organic Chemistry, as a way of illustrating the concepts constructed throughout the thesis. At the end, we seek to point out how the developed episode articulates with elements of the thesis to be defended and exposes tensions and possibilities for historical approaches to a Science Education that intends to follow the path we have chosen in this work.

Keywords: Science Education; Curriculum Theory; Politicization; Decolonization; Cultural History of Organic Chemistry

RESUMEN

Educación Científica, Historia Cultural de la Ciencia y Currículo: articulaciones posibles

Esta tesis, de naturaleza teórica, que ha considerado la brecha entre la Educación Científica y la demanda de politización evidenciada en algunos trabajos de la literatura, se defiende la postura de que la Historia Cultural de las Ciencias puede ser una vía que visa por la disminución de dicha brecha, a través de la decolonización del currículo, lo que posibilita contar diferentes historias sobre las ciencias al interior de la educación científica. Para la realización de esa defensa, se inició un estudio sobre la idea de politización en la Educación en Ciencias en la literatura. Basándose en los presupuestos teóricos de la lectura decolonial de Boaventura de Souza Santos, se exploró el concepto de crisis de modernidad en la obra de este autor, realizando articulaciones con la Educación en Ciencias. También se utilizaron los conceptos de Sociología de las Ausencias y Ecología de los Saberes para tejer articulaciones posibles entre la Educación en Ciencias y el sesgo histórico. Para incluir en los procesos de Educación en Ciencias, se procedió con e análisis del concepto de Naturaleza de las Ciencias y sus presupuestos teóricos en la literatura, buscando entender, a través de la Teoría de Currículo, cuánto se acercan o se alejan las perspectivas de politización buscadas en está tesis. En el análisis de la Historia Cultural de la Ciencia como movimiento historiográfico y, cruzando referentes de la Historia Cultural de la Ciencia y de los Science Studies, con los de la Educación en Ciencias, se propone una interpretación para el concepto de Práctica Científica dibujando, a partir de esta discusión, implicaciones para la Educación en Ciencias. Por último, procedemos a la construcción de un episodio histórico de la Química Orgánica, como forma de ilustrar los conceptos propuestos que se han construido a lo largo de este proceso de investigación y que se han plasmado en esta tesis. Al final, se busca resaltar cómo el episodio desarrollado se articula con elementos de la tesis a ser defendida y expone tensiones y posibilidades para abordajes históricos en la educación científica que pretendan seguir el sendero de la literatura que oriento este trabajo.

Palabras clave: Educación en Ciencias; Politización; Decolonización; Teorías de Currículo; Historia Cultural de la Química Orgánica

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Uma visão consensual dos objetivos para a Natureza da Ciência extraídos de oito documentos internacionais de padrões para a ciência 81

Figura 2: Comparação de temas emergentes desse estudo com aqueles do estudo de McComas e Olson (1998) 82

Figura 3: Uma lista de ideias de NdC basais apropriadas para informar o desenvolvimento curricular para educação básica, instrução e formação de professores 84

Figura 4: Dimensões de confiabilidade da Ciência..... 89

Figura 5: Climategate – um exemplo de protótipo para avaliar o conhecimento de estudantes sobre a ciência 90

Quadro 1: Resumo das características da proposta Family Resemblance Approach 96

Figura 6: Cinco cirurgiões participam na amputação da perna de um homem sem anestesia, enquanto um sexto homem os observa 143

Figura 7: Um cartoon presente em dissertação de aluno de medicina da Universidade da Pennsylvania sobre “os efeitos químicos e hilariantes do gás óxido nitroso”..... 144

Figura 8: Pôsteres de exibições públicas envolvendo a inalação de gás hilariante e outras substâncias psicotrópicas 145

Figura 9: A primeira cirurgia com éter, de Robert C. Hinckley..... 147

Figura 10: O primeiro uso de éter na cirurgia dentária, de Ernest Board..... 147

Figura 11: Reconstituição da demonstração de anestesia com éter, por W. T. G. Morton 148

Figura 12: Tabela de Afinidades de Étienne François Geoffroy, de 1718..... 159

Figura 13: Excerto de duas das 13 páginas do artigo de Fourcroy e Vauquelin (1797) 161

Figura 14: Kaliapparat e o atual símbolo da American Chemical Society..... 162

Figura 15: Excerto de artigo de 1814 de Berzellius com as regras gerais para utilização de fórmulas químicas..... 170

Figura 16: Esquema de Dumas e F. Boullay para representar a ocorrência de duas reações em paralelo 171

Figura 17: Reação de formação do ácido sulfovínico 171

Figura 18: Representação das diferentes substâncias envolvidas na reação de formação do éter 172

Figura 19: Fórmulas de Dalton 174

Figura 20: Estratégias narrativas na História Cultural das Ciências 182

Figura 21: Relação conceitual entre perspectivas do estudantes e contextualização do conhecimento científico 186

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAAS ..... American Association for the Advancement of Science

BNCC ..... Base Nacional Comum Curricular

BSCS ..... Biological Sciences Curriculum Study

CHEM Study ..... Chemical Education Materials Study

COCTS ..... Cuestionario de Opiniones en Ciencia, Tecnología y Sociedad

CTS ..... Ciência, Tecnologia e Sociedade

EC ..... Educação em Ciências

ENPEC ..... Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

ESERA ..... European Science Education Research Association

FRA ..... Family Resemblance Approach

HC ..... História das Ciências

HCC ..... História Cultural das Ciências

HFSC ..... História, Filosofia e Sociologia da Ciência

IHPST ..... International History, Philosophy and Science Teaching Group

IOSTE ..... International Organization for Science and Teachnological Education

KNOWS ..... Knowledge of the Nature of Whole Science

NARST ..... National Association for Research in Science Teaching

NdC ..... Natureza da Ciência

NGSS ..... Next Generation of Science Standards

NIEHCC ..... Núcleo de Investigação em Ensino, História das Ciências e Cultura

NOS ..... Nature of Science

NRC ..... National Research Council

PCN+ ..... Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM ..... Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PEC ..... Pluralidade Externa das Ciências

PIC ..... Pluralidade Interna das Ciências

PISA ..... Programme for International Student Assessment

PSSC ..... Physical Science Studies Committee

QPA ..... Química de Plantas e Animais

STEAM ..... Science, Technology, Engeneering, Arts and Mathematics

STEM ..... Science, Technology, Engeneering and Mathematics

STS ..... Science and Technology Studies

TEK ..... Traditional Ecological Knowledge

TIMSS ..... Trends in International Mathematics and Science Study

UnB ..... Universidade de Brasília

VNOS ..... Views of Nature of Science Questionnaire (versions A, B, C, D and E)

VOSTS ..... Views on Science-Technology-Society

WMS ..... Western Modern Science

SUMÁRIO

Introdução 18

1. Educação em Ciências em um mundo em crise: pontuando algumas questões iniciais 27

1.1 O que significa politizar a Educação em Ciências? Algumas perspectivas presentes na literatura da área. 27

1.1.1 Educação para a cidadania 29

1.1.2 Construção de subjetividades 32

1.1.3 Um “chamado para ação” 34

1.1.4 Algumas reflexões 36

1.2 Um mundo em crise 37

1.2.1 A crise do conhecimento em Boaventura de Sousa Santos 42

1.2.2 Enfrentando a crise: propostas de Boaventura de Sousa Santos 47

1.3 Em busca de sentidos para o ensino de ciências: um diálogo com a literatura da educação em ciências 55

1.4 Um papel para a História na Educação em Ciências 61

2. A Natureza da Ciência revisitada pelas lentes do currículo 67

2.1 História das Ciências e Natureza da Ciência 67

2.2 Teorias de Currículo e o Ensino de Ciências: buscando aproximações 70

2.2.1 Normatividade Curricular 74

2.3 Natureza da Ciência segundo a teoria curricular 79

2.3.1 A visão consensual 80

2.3.2 Ciência integral 87

2.3.3 Abordagem por semelhança de famílias 95

2.4 Questões para o futuro (e para o presente) 99

3. História das Ciências e a perspectiva das práticas científicas: a defesa de uma História Cultural 105

3.1 Movimentos de renovação na Historiografia da Ciência 105

3.2 As Práticas Científicas 112

3.2.1 Práticas científicas vs. Práticas científicas 113

3.2.2 Algumas considerações sobre o conceito de prática científica 116

3.2.3 Características da prática científica 121

3.3 A História Cultural das Ciências e suas implicações no ensino 126

4. Um episódio histórico: a síntese dos éteres no início do século XIX 135

4.1 Considerações prévias 136
4.2 Por que o éter? Contextualizando a história. 140
4.3 Da química de plantas e animais à química do carbono 149
4.4 A síntese do éter 156
4.5 Da História das Ciências no Ensino à História Cultural das Ciências no Ensino – ligando os fios 174
4.5.1 A História Cultural das Ciências como uma forma diferente de apresentar a História das Ciências no Ensino 175
4.5.2 Episódios Históricos, Decolonização e Normatividade Curricular 184
Considerações Finais 188
Referências Bibliográficas 193

Introdução

Todo texto possui um pouco (ou muito) de seu próprio autor. Ainda que esse escrito não seja uma autobiografia no sentido estrito, sem dúvida há traços importantes da minha trajetória acadêmica e pessoal que insistem em permanecer aqui registrados. Em 2013/2014, quando escrevi minha dissertação, certamente não iniciaria (e não iniciei, de fato) um texto com a epígrafe que aqui coloco. Naquele momento, foi Marx, com seu desejo de transformação do mundo[1], quem ocupou esse espaço. Aqui e agora, Drummond anuncia que não será poeta de um mundo caduco. Avisa que olha seus companheiros e conclama que caminhemos todos de mãos dadas. Se antes, o desejo de transpor uma realidade à outra era forte e claro o suficiente, hoje, o que temos? De onde sairemos e para onde podemos ir? O que mudou – em mim, no mundo ou no *eumundo*[2] – de lá para cá?

Este texto, histórico como todo texto, e que começa a ser construído e escrito efetivamente em 2017, é acompanhado de um contexto político, social e econômico dos mais desafiadores. As questões relacionadas à imigração em diversos países do mundo; a existência de conflitos locais que parecem intermináveis, na Síria, na Ucrânia, e em outros países; o acirramento das tensões geopolíticas; a efervescência política em países diversos, desde os grandes *players* internacionais, como os EUA (com processo eleitoral acusado de manipulação internacional) e Inglaterra (com a decisão do "Brexit"), até em países emergentes, como o Brasil (profundamente fustigado por esquemas de corrupção que parecem intermináveis e sua respectiva investigação, e por um golpe de Estado). Tudo isso acompanhado de ingredientes como crescimento de partidos conservadores e do neofascismo, conforme noticiado mundo afora (exemplos nos EUA, França e Brasil), o que acompanha consigo a sombra de um passado de horrores muito recente – se utilizamos a métrica do "tempo histórico" –, que queremos esquecer e jamais reviver. Rememorando 2013/2014, abria a dissertação com impressões de

[1] A epígrafe utilizada foi a famosa frase de Marx: "Até agora os filósofos se preocuparam em interpretar o mundo de várias formas. O que importa é transformá-lo."

[2] Essa opção por escrever as palavras justapostas é inspirada no neologismo comum em textos de curriculistas do campo do currículo cotidiano (OLIVEIRA, 2013; ALVES, 2003; FERRAÇO, 2013a; SUSSEKIND, 2014). No caso de "*eumundo*", aposto na compreensão do "eu" como parte do mundo, não numa perspectiva relacional e dicotômica (eu-mundo), mas no sentido de constituir o mundo e por ele ser constituído, de maneira que essas fronteiras entre o eu e o mundo não são tão claras, precisas e fixas. Para além de um jogo de palavras, quero com isso traduzir que, de certa forma, as mudanças que o "eu" pode ter sofrido nesse período de tempo refletem e refratam (em um sentido livremente Bakhtiniano) as mudanças que o "mundo" sofreu.

Gérard Fourez (2003), em que anunciava uma crise no Ensino de Ciências. Penso hoje que a nossa crise, para além do Ensino de Ciências, é muito mais perturbadora e grave do que aquela crise de mais de dez anos atrás. Trata-se de uma crise que põe em xeque nossa própria existência como humanidade, não só a partir do risco de um conflito, mas também com as escolhas políticas e ambientais que temos feito enquanto sociedade.

Com este cenário, inevitavelmente os olhares voltam-se à educação no sentido de questionar o que nós, professores e educadores, temos feito a respeito desses tempos. Dos conservadores, que esperam que atuemos para conservar ou resgatar os tempos de outrora, em que supostamente não havia toda essa liquidez ou este nível de conflitos; aos progressistas, que demandam a formação de seus filhos para encarar não só essa nova realidade, mas as realidades do porvir. Futuro esse profunda e constantemente em disputa.

Como parte da construção humana chamada civilização, a educação também tem sido terreno de disputas de diversas concepções, que carregam consigo seus valores ideológicos. No Brasil, essa disputa se traduz de um lado pela ascensão de movimentos como o "Escola Sem Partido", que reivindica, em suas próprias palavras[3] a "descontaminação e desmonopolização política e ideológica das escolas", e de outro pela crescente presença, no espaço escolar, das lutas identitárias, notadamente as de afirmação de gênero e raça.

A educação como terreno de disputa em contextos políticos e sociais complexos não é uma novidade. Pierre Bourdieu, Basil Bernstein e diversos teóricos da educação já traçaram estudos bastante convincentes que apontam a educação como terreno de permanentes disputas ideológicas (LOPES; MACEDO, 2011). Muitas dessas lutas são disputas não-exclusivas da escola, mas sim ocorrem no *dentrofora* de seus muros, como diria Nilda Alves (2010). Isso implica, por vezes, um acirramento da discussão a respeito de temas que devem ou não figurar no currículo escolar, além das formas pelas quais as políticas públicas, pressionadas por essas disputas, moldam e são moldadas pelo que se faz em sala de aula.

A despeito disso, no âmbito da Educação em Ciências, autores (BAZZUL, 2012; CARTER, 2014; TOLBERT; BAZZUL, 2017) denunciam um certo alheamento das disciplinas científicas aos temas sociopolíticos, tanto na pesquisa, quanto nas práticas da educação em ciências. Sobre isso, Bazzul (2012) relata seu espanto ao perceber

[3] Conforme divulgado na página do movimento, acessível em <www.escolasempartido.org>.

que, durante o congresso anual do IHPST (International History, Philosophy and Science Teaching Group) de 2011, embora o assunto que dominava as conversas durante os cafés fosse a situação econômica da Grécia, ao assistir aos trabalhos nas sessões, as pesquisas pareciam tratar de um mundo completamente hermético a essas questões. O fato de as demandas e grandes discussões do mundo contemporâneo pressionarem a escola e a pesquisa em educação, mas, aparentemente, passarem ao largo desses espaços, parece denunciar que há algo de errado com a ciência escolar, seja na dimensão da prática ou da pesquisa[4].

Assim como diversos autores já discorreram extensamente na literatura (MATTHEWS, 1995; OKI; MORADILLO, 2008; MARTINS, 2006) sobre o fato de que o objetivo de reaproximação entre a Educação em Ciências e a História, Filosofia e Sociologia das Ciências não consiste em transformar as aulas de ciência escolar em aulas de História das Ciências (HC), não se pretende argumentar que as aulas de ciências devem ser aulas sobre política macroeconômica mundial ou sobre gênero, sobre racismo, entre outros. No entanto, fica razoavelmente claro que para cumprir a demanda de formação cidadã que parecer ser um consenso entre educadores de ciências do mundo inteiro (VESTERINEN et al, 2016; RUDOLPH; HORIBE, 2016)[5], algo precisa mudar na sala de aula de ciências e, também, na pesquisa em educação em ciências. Pretendemos com isso realizar movimentos para que os estudantes possam começar a entender em sala de aula como os diversos discursos em diversos contextos são construídos a partir de valores muito associados às ciências, e em que medida esses valores estão presentes na própria ciência.

Essas questões que moldam minha trajetória acadêmica, como não poderia deixar de ser, se fazem presentes em nosso grupo de pesquisa, o NIEHCC (Núcleo de Investigação em Ensino, História das Ciências e Cultura). O NIEHCC busca, por meio da História das Ciências, estreitar a relação entre o que se discute nas aulas de ciências e temas socialmente relevantes, sejam eles direta ou indiretamente ligados à "instituição" ciência (MOURA; GUERRA, 2016a). Como destaquei, essa trajetória do grupo confunde-se com minha própria trajetória acadêmica, que se inicia no mestrado,

[4] Cabem aqui importantes ressalvas / exceções em âmbito nacional, ainda que sejam mais recentes do que o ano de 2011, em que Bazzul participa do congresso por ele mencionado: no ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências) de 2017, houve diversos momentos da programação dedicados a discutir as questões em tela (ativismo jovem; escola com mordaça, etc). No SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) de 2017 também houve uma mesa que questionava sobre o futuro do Ensino de Física em tempos de movimentos como "Escola sem Partido". Parece haver, então, um movimento recente de reconhecimento das imbricações políticas da Educação em Ciências.

[5] No capítulo 1, complicaremos um pouco essa noção de consenso em torno da "formação cidadã".

implementando uma abordagem histórica sobre modelos atômicos, por meio da qual surgem questões não-usuais na sala de aula de ciências, como questões de gênero e sobre como efetivamente a ciência se constrói “na prática” (MOURA, 2014; MOURA; GUERRA, 2016b). A partir da análise dos resultados da pesquisa de mestrado, entendemos que as questões de gênero surgiram por uma demanda dos tempos atuais, onde tais temas têm sido amplamente discutidos na sociedade, e além disso, que a curiosidade dos estudantes sobre a construção da ciência “como realmente é”[6] pode ajudar na discussão sobre a ciência e de suas relações com a sociedade. Essas análises nos fizeram iniciar, então, em nossas pesquisas uma busca não apenas sobre quais estratégias e quais caminhos podem possibilitar a emergência desses temas em sala de aula, mas, também, sobre qual perspectiva historiográfica potencializaria as discussões pretendidas (MOURA; GUERRA, 2016a). É claro que todos esses caminhos na pesquisa não podem negligenciar questões sobre como nós, professores, lidamos com essas estratégias e possibilidades, com todas as implicações para temas como formação docente inicial e permanente e políticas públicas para a educação.

A partir dessas primeiras considerações, enunciamos a tese a ser defendida neste trabalho: considerando o atual distanciamento do campo da Educação Científica em relação à demanda de politização da área apresentada em alguns trabalhos da literatura, defendemos que *a História Cultural das Ciências pode ser um caminho para diminuir o déficit político da Educação em Ciências através da decolonização do currículo*, o que nos permitiria contar outras histórias sobre as ciências na educação científica.

Buscando defender o ponto de vista enunciado acima, a tese se divide em várias etapas. Na primeira etapa, lembramos que as discussões que empreendemos nesta introdução estão ligadas àquela que acreditamos que deveria ser a mola-mestra da Educação em Ciências: a reflexão sobre por que ensinar ciências. Isto é, considerar a crise que estamos vivendo como mais do que meramente um cenário. E é a partir dessa consideração que buscaremos, antes de explorar os caminhos para a sala de aula, fazer o trabalho de “revolver o chão” da educação em ciências, escavar seus pressupostos, “dar um passo atrás” no sentido de reabrir questões que são consideradas ponto pacífico. Imaginemos a tese a partir do simbolismo de uma árvore. É possível dizer que este cenário político complexo constitui o solo a partir do qual essa árvore cresce. Muito

[6] No contexto da pesquisa, os estudantes se interessaram por aspectos a respeito de como os cientistas conhecem o trabalho de outros, como se comunicavam entre si, entre outros aspectos.

mais que apenas o receptáculo dessa árvore, o tipo de solo vai determinar que árvore pode crescer ou não, pois é do solo que vêm os nutrientes fundamentais para o crescimento da planta. Investigar esse solo é buscar elaborar sobre que crise vivemos e quais as suas consequências para a Educação em Ciências. Partindo das ideias do sociólogo português Boaventura de Sousa Santos (1987/2008; 2002; 2008; 2010a; 2010b; 2016), entendemo-la como uma crise do conhecimento científico e da instituição "Ciência"; é, portanto, uma crise epistemológico-política. Isto significa dizer que a formação do que conhecemos hoje como ciência moderna está ligada com a supressão de conhecimentos alternativos e com uma ideia de progresso que criou, por exemplo, as condições para a crise ambiental que vivemos.

Defendemos, a partir dessa constatação, que a recuperação desses saberes que foram deslegitimados e eliminados do jogo do poder e do jogo do possível pode ser uma possível saída para a crise que vivemos. Essa é uma defesa que encontra reverberação na literatura de Educação em Ciências, sendo discutida, por exemplo, por van Eijck e Roth (2007), Alsop e Fawcett (2010), entre outros. Nos alinhamos com essas defesas na medida que esses estudiosos advogam a necessidade de trazer outros conhecimentos para compor o currículo de ciências, o que, pela ótica de Boaventura de Sousa Santos, entendemos como uma forma de decolonizar tal currículo. No entanto, cabe pensar o que implica uma mudança curricular dessa monta. Se tomarmos como referência a abordagem do ciclo de políticas de Ball (MAINARDES, 2006) ou ainda outras matrizes de referência, é possível dizer que essas mudanças são complexas e podem levar algum tempo. Ademais, implicam em mudanças como na formação inicial de professores, materiais didáticos, e mesmo no aprofundamento de pesquisas que reconstruam esses saberes que foram, muitas vezes, eliminados do mapa. Endossamos todas essas ações, no longo prazo. Afinal, como nos ensina Mário Quintana, mesmo que as mudanças sejam difíceis ou até utópicas para alguns, *não é motivo para não querê-las*. Mas para além desse movimento, propomos um outro, baseado na sociologia das ausências de Boaventura de Sousa Santos, qual seja, o ato de decolonizar o currículo dentro do que já está posto. Isso implica olhar para o que já está sedimentado nas práticas de cada disciplina e pensar como se poderia decolonizar a nossa narrativa sobre a ciência. Propomos que essa decolonização pode ser feita desde uma abordagem histórico-cultural. E, além disso, apontamos para a necessidade de ter o mesmo olhar histórico para os conhecimentos que foram alvo de epistemicídios, a fim de evitar sua reificação e fetichização. Uma possível resposta para a crise no sentido abordado por Boaventura Santos é, portanto, uma resposta que na educação em

ciências poderia ser dada pelo caminho da abordagem histórico-cultural. Esta é a defesa do capítulo 1.

A utilização de abordagens históricas, no entanto, vem sendo defendida há muito tempo na literatura da Educação em Ciências (MATTHEWS, 1995; MILNE, 2011; GUERRA; REIS; BRAGA, 2013), muito comumente sendo associada a uma abordagem sobre o que se chama de Natureza da Ciência. Essa perspectiva se tornou praticamente hegemônica na literatura, carregando consigo uma tendência a sintetizar as práticas de abordar a Natureza da Ciência a partir de listas de consenso, que indicariam características da ciência consideradas ponto pacífico. Essas listas receberam críticas e novas propostas foram feitas, em contraponto à chamada "lista consensual". No capítulo 2, atendendo à sugestão de Alsop e Gardner (2017) e alinhados com Bazzul (2012; 2014) e Carter (2014), procuramos entender, pelas lentes da teoria curricular, o que as principais ideias dessas propostas permitem e o que elas bloqueiam na Educação em Ciências e como a presente tese se articula dentro desse espaço, para então voltar à História das Ciências, no capítulo 3.

O movimento de politização, a preocupação com o multiculturalismo e a diversidade e a percepção da dívida histórica que se constituiu no caminhar da humanidade, é algo que parece estar presente de forma crescente em diversas áreas do pensamento e não apenas na Educação em Ciências. Nyhart (2016), por exemplo, aponta que a história das ciências tem experimentado o nascimento de correntes que buscam não apenas contar a história dos eventos que construíram a ciência, mas também deixar claro as assimetrias de poder presentes nesse processo:

> "A tarefa dos historiadores agora é buscar entender como certas formas de conhecimento e práticas dentro desse conjunto massivo de atividades veio a ser conhecido como 'ciência;' o que sustentou a ciência social, cultural e materialmente; quem se beneficiou e quem sofreu em sua formação. O que aconteceu no passado não mudou: o que esperamos que os historiadores da ciência saibam e se importem, sim." (NYHART, 2016: 7).[7]

No sentido da afirmação de Nyhart (2016), os historiadores da ciência têm investigado, cada vez mais, temas que são cruciais para entendermos como diversos valores, hoje muito associados à ciência, possuem sua própria história, ou em alguns casos, exemplos históricos que refutam ou reforçam determinados valores como

[7] No original: "The historian's task now is to tease out how certain forms of knowledge and practice within this mass of activity came to be understood as "science;" what has sustained science socially, culturally, and materially; and who has benefitted and who has suffered in its formation. What happened in the past did not change: what we expect professional historians of science to know and care about has."

constituintes intrínsecos da ciência. Os valores de neutralidade e imparcialidade, por exemplo, já foram, há muito, descolados da ciência, especialmente nos movimentos de estudos sociais da ciência surgidos após a Segunda Guerra Mundial. O filósofo Thomas Kuhn, ao traçar o processo conhecido como Revolução Científica e o estabelecimento da ciência moderna, o faz a partir da análise da ciência e seus atores imersos em determinado contexto histórico e social, evitando, portanto, tais rótulos que aludem a uma visão ingênua sobre a ciência (KUHN, 2006). Os estudos sociais da ciência, de forma geral, vêm reafirmando sua não-neutralidade desde então.

Hoje, as interpretações sobre o período estudado por Kuhn, influenciadas pelos Estudos Culturais e vieses pós-estruturalistas, têm questionado a ideia de revolução científica para este (PIMENTEL, 2007) e outros episódios históricos, como a revolução química do final do século XVIII (KLEIN, 2015), em favor de interpretações que privilegiam a mudança gradual, a partir do foco nas práticas científicas mais prosaicas. A respeito da objetividade, Daston e Galison (2007) nos mostram que ela tem a sua própria história e não é um valor intrínseco à ciência moderna. Os autores apontam diversos estágios antes, depois e durante a ciência moderna, nos quais a validação de conhecimentos não necessariamente seguiu os ditames da objetividade mecânica[8], nem mesmo enquanto o positivismo era a corrente filosófica mais pujante e destacada na ciência (DASTON; GALISON, 2007). Ainda sobre validação e experimentação nas ciências, embora desde Kuhn (2006) já seja consensual que toda experimentação é "*theory-laden*" e que o processo de validação do conhecimento produzido nas ciências é socialmente sensível, Galison (1987) aprofunda essa perspectiva, a partir do estudo de temas da física moderna.

Tais reinterpretações criam desafios tanto para a História das Ciências, quanto para a própria Educação em Ciências que trabalha na interface entre História das Ciências e Ensino. Entretanto, cria também – a nosso ver – boas oportunidades a serem exploradas no sentido de diminuir os "pontos cegos" da pesquisa (e da prática) em educação em ciências mencionados por Carter (2014). Neste sentido, exploramos no capítulo 3 o que a História Cultural das Ciências pode significar para a Educação em Ciências, articulando-se com referências desta concernentes à ideia de prática científica e também referenciais dos *Science Studies*, sobre o mesmo tema.

[8] Daston & Galison (2007) chamam de objetividade mecânica certo conjunto de assumpções e ações de cientistas, especialmente no século XIX, que buscavam a "retirada" do sujeito do contexto de geração de dado científico, para assim obter os dados mais fidedignos possíveis, se possível, automatizados, evitando assim a "contaminação" do dado pelo cientista/técnico.

Retomando a imagem da árvore, se o contexto de onde essa tese se nutre é o solo, podemos dizer que os três principais ramos de raízes que dão sustentação a ela são, respectivamente a perspectiva decolonial a partir da qual fazemos a defesa de abordagem histórico-cultural, a teoria de currículo, que auxilia na tarefa de dar "um passo atrás" para compreender melhor a formação da área de História, Filosofia e Sociologia da Ciência no Ensino, e a própria História Cultural das Ciências, da qual nos servimos para aprofundar a teorização sobre possibilidades para abordar a História das Ciências em sala de aula. Estas raízes têm, sem dúvida, seus entrelaçamentos entre si, de modo que é difícil determinar até que ponto uma não é a continuação da outra, ou, ainda, o quanto elas se aproximam ou se distanciam.

No capítulo 4, há o tronco da presente tese-árvore. O tronco é onde convergem os nutrientes absorvidos do solo e "traduzidos" pela raiz. É neste capítulo, através de uma narrativa envolvendo a história da química orgânica, que esperamos fazer convergir a teorização dos primeiros três capítulos, servindo como um "exemplar" de uma possibilidade para abordar a História das Ciências no Ensino através da abordagem histórico-cultural. O tema escolhido para o desenvolvimento dessa pesquisa histórica foi o processo de estabelecimento da química orgânica na primeira metade do século XIX, em particular a química dos éteres. A escolha desse tema deve-se ao fato de a história da química orgânica praticamente não ter sido contemplada na educação em química até o momento, que tem se valido mais de exemplos relativos ao atomismo (MOURA; GUERRA, 2016b; OKI, 2009; VIANA; PORTO, 2010), ou outros episódios pontuais na história da química (SOUZA; PORTO, 2012; VIANA; PORTO, 2013). Além disso, o ensino de química orgânica é fortemente marcado por uma tradição colecionista relacionada a memorização de regras de nomenclatura, classificações e mecanismos de reação. Na pesquisa em ensino de química, essa área tem sido articulada principalmente com o movimento CTS, salvo raras exceções como Souza & Porto (2012).

Nas considerações finais, a convergência do tronco se "abre" novamente, no que esperamos serem centenas de ramos possíveis de serem explorados na literatura da educação em ciências no futuro. Assim, buscamos sintetizar as contribuições da tese para a área de educação em ciências e apontamos possibilidades de novas pesquisas.

A partir dessas considerações, esta tese tem como objetivos gerais:

A. Desenvolver uma discussão teórica sobre os objetivos da Educação em Ciências na contemporaneidade, problematizando o papel da ciência

moderna ocidental neste momento de crise global e suas repercussões para a educação em ciências.

B. Analisar, a partir da teoria curricular, os pressupostos das abordagens de Natureza da Ciência com maior relevância na literatura internacional, buscando entender alguns de seus pressupostos que podem estar contribuindo para o atual momento de crise global.

C. Desenvolver discussão teórica que construa caminhos para a abordagem histórica da ciência baseada na vertente historiográfica da História Cultural das Ciências, entendida como uma possibilidade de resposta a alguns dos dilemas apontados nos objetivos A e B.

D. Elaborar uma narrativa histórica tendo como temática geral a história da química orgânica, pautada nos princípios da História Cultural das Ciências, conforme objetivo C.

Cabe pontuar que um trabalho de quatro anos, como uma tese de doutorado, é acompanhado de ires-e-vires naturais do processo de amadurecimento da pesquisa, das descobertas do caminho e também percalços que obrigam a reformular problemas ou criar novas soluções. Nesse sentido, a primeira informação importante sobre este produto final do doutorado é que este passou da intenção inicial de construir uma tese empírica a uma tese puramente teórica. Essa tese teórica, porém, carrega consigo marcas profundas de um “pensar” eminentemente empírico, seja nos rastros deixados pela intenção de pesquisa inicial, seja pelo fato de o pesquisador estar inserido em um grupo que se reúne e discute semanalmente casos de sala de aula e projetos empíricos de outros docentes envolvidos no mesmo grupo, seja pelo próprio docente ser professor da educação básica (e projetar isso para o futuro). Sendo assim, as escolhas do marco teórico, os objetos tomados para análise, e muitos outros aspectos possuem todos um lastro na preocupação com a prática de sala de aula e, assim, se pretende propositivo, o tanto quanto possível, sem cair numa prescritividade, da qual procuramos nos afastar nessa tese.

Boa leitura!

1. Educação em Ciências em um mundo em crise: pontuando algumas questões iniciais

Na introdução, busquei caracterizar e apresentar algumas das inquietações que levaram a produzir esse texto, bem como situá-lo dentro de um contexto político e social que julgo demandar atenção por parte dos educadores em ciências. Nessa seção, intento aprofundar essa caracterização e pontuar questões como: que entendemos por "mundo em crise"? Quando se fala em educação em ciências para a cidadania, de que estamos tratando? Como a literatura da área vem tratando a demanda de "politização" da educação em ciências para lidar com essas questões socialmente sensíveis? A exploração dessas questões busca dar lastro para o desenrolar da tese a ser defendida nesse texto, bem como procura desambiguar certos sentidos dados a termos e conceitos tratados ao longo dos capítulos seguintes.

1.1 O que significa politizar a Educação em Ciências? Algumas perspectivas presentes na literatura da área.

Quando se fala em politizar a Educação em Ciências, as interpretações podem ser diversas e até mesmo equivocadas. Especialmente se tomamos em consideração o contexto de cerceamento às liberdades (inclusive a de cátedra, a liberdade docente) a qual vivemos no Brasil de 2018, a necessidade de definição do significado dessa expressão torna-se ainda mais premente[9]. Para além disso, a ideia de politização da educação em ciências parece carregar uma contradição: afirmamos anteriormente que educar não é um ato neutro, mas sim um ato político e que assim, disputas políticas necessariamente permeiam o fazer educativo e a escola em si. Sendo assim, como parte da educação em um sentido mais amplo e ocorrendo dentro do ambiente escolar, educar em ciências não carregaria consigo uma perspectiva política, necessariamente? Que sentido ganha a ideia de "politizar a educação em ciências" nesse contexto? A resposta à primeira pergunta é um contraditório "sim e não".

[9] Como exemplo de tal perseguição, destaco notícia de hoje, 22 de fevereiro de 2018, veiculada enquanto escrevo este capítulo: "Governo Temer vai processar UnB por disciplina sobre o 'golpe de 2016'". Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/politica/2018/02/22/interna_politica,939433/governo-temer-vai-processar-unb-por-disciplina-sobre-o-golpe-de-2016.shtml>. Longe de ser um caso isolado, o próprio movimento "Escola sem Partido" deixa claro esse ambiente hostil à prática docente.

Esse tema é abordado por Carter (2014), de maneira que fica claro o suposto paradoxo: as questões políticas estão e sempre estiveram na educação, inclusive na educação em ciências (conforme apontado na introdução). Elas estão difundidas, na forma de senso comum, na maneira como vivemos, interpretamos e entendemos o mundo. No entanto, na Educação em Ciências, elas assumem a forma de "variáveis desprezadas"[10], isto é, variáveis que embora possuam efeitos no fenômeno estudado, são desconsideradas por diversas razões, como indisponibilidade de dados, desconhecimento de sua existência ou sua influência é tida como desprezível (JOINER apud CARTER, 2014). Tal qual a força de atrito em problemas da mecânica clássica escolar, a variável política é frequentemente desprezada em estudos sobre a educação em ciências.

O que significa, no entanto, desprezar a variável política? Para isso, é necessário revisitar o conceito de política, de modo a esclarecer esse ponto. Conforme Chauí (2000), vários significados são dados à política:

- Política como governo: entendido como direção e administração do poder público, na forma de Estado. Nesse sentido, refere-se à ação dos governantes para dirigir o coletivo, bem como as ações da coletividade em apoio ou contrárias à autoridade governamental ou mesmo à forma do Estado.
- Política como atividade de especialistas: entendida como a ação de administradores e profissionais (os políticos) que se organizam em partidos para governar o Estado. Embora eleja os políticos, o coletivo enxergaria a política, nesse sentido, como algo distante da sociedade.
- Política como senso comum: vista como algo pejorativo, atividade de conduta duvidosa, não muito confiável, de conduta um tanto secreta, "cheia de interesses contrários aos interesses gerais da sociedade e obtidos por meios ilícitos ou ilegítimos".

Chauí (2000) destaca o paradoxo existente entre o primeiro e o terceiro significados, em que podemos perceber uma divergência no que tange a agência do cidadão comum. No primeiro caso, o poder encontra uma certa dispersão, não estando completamente localizado em um ou outro agente, enquanto que no segundo e especialmente no terceiro caso, há uma percepção de política como algo fora da esfera de ação do cidadão comum, imprimindo à política um valor negativo. O entendimento

[10] No original: "lurking variable".

naïve da política, conforme expresso no segundo e terceiro casos, é o que pode levar à má compreensão e, portanto, percepção negativa do movimento de politizar a educação em ciências; estas compreensões são as quais buscaremos nos afastar nesta tese. Em seu lugar, apostamos em uma ideia de política como possibilidade de empoderar cidadãos para que possam exercer o poder no jogo político, conforme a primeira percepção de Chauí (2000). Além disso, cabe perceber que, conforme Oliveira (2013) nos coloca, “não há prática que não integre uma escolha política e que não há política que não se expresse por meio de práticas e que por elas não seja influenciada”. Assim, é fundamental que se empreenda um esforço para explicitar a variável política na educação em ciências, deixando claro os objetivos para os quais concorrem cada prática (ou *políticapráticaexpressiva*, na expressão de Oliveira (2013)) e que concepções acerca do mundo carregam cada escolha dentro do currículo. Como essas escolhas não ocorrem em uma escola hermética ao mundo e nem em vácuo político, a decisão sobre conteúdos, sobre metodologias, de implementar ou não inovações curriculares (e quais inovações são essas) nas aulas de ciências, são completamente embebidas politicamente. Noção análoga pode ser aplicada à pesquisa em Educação em Ciências, seus objetos, métodos e motivações de pesquisa.

Como Carter (2014) aponta, a politização é um movimento crescente na Educação em Ciências e com alguma “estrada” a ser descrita. Apontamos a seguir, sem a pretensão de exaustão, algumas dessas iniciativas já presentes na literatura. Para selecionar essas experiências, utilizamos como critério a percepção de práticas ou movimentos curriculares que, de alguma forma, implicam uma reorientação da educação em ciências em direção a formação de cidadãos capazes de perceber a política para além dos sentidos de senso comum apontados por Chauí, enxergando o papel da ciência e tecnologia nesse processo.

1.1.1 Educação para a cidadania

O primeiro movimento importante a ser considerado está ligado a teses surgidas especialmente após o final da Segunda Guerra Mundial, com um viés de crítica às ciências. Nesse cenário, a busca por uma percepção exclusivamente logicista ou racionalista da ciência deu lugar à emergência de análises que levavam em

consideração o ambiente social e cultural no qual essa ciência era produzida, questionando ideais como objetividade e neutralidade[11].

Após isso, mais especialmente no final dos anos 80, crescia na Educação em Ciências um movimento de afirmação da importância da formação científica mínima dos estudantes com vistas a compreender como o mundo natural e artificial funcionam, bem como as relações entre ciência, tecnologia e matemática (BARTON, 1998). Se "compreender como se constrói" a ciência se tornou quase um ponto pacífico na área de Educação em Ciências, o "por quê / para quê" atingir essa concepção foi e continua sendo objeto de controvérsia até os dias atuais (MARTINS, 2015). A retórica a respeito da formação cidadã parece dominar o campo (VESTERINEN; TOLPANEN; AKSELA, 2016), mas os modelos de formação cidadã possuem diferenças consideráveis entre si. Sendo assim, por trás desse discurso, pode haver desde a pretensão de que os estudantes sejam capazes de "interpretar a confiabilidade das informações científicas nas tomadas de decisão envolvendo temas públicos e pessoais" (ALLCHIN, 2011), ou de "engajar-se produtivamente em discussões sobre questões sociais que se baseiam ou se relacionam de forma relevante com a ciência" (RUDOLPH, HORIBE, 2016). Enquanto para Allchin (2011c) diversas questões controversas a respeito da ciência revelam a necessidade de os estudantes entenderem como a ciência funciona, seja como cidadãos ou como consumidores, Rudolph e Horibe (2016) argumentam que o engajamento cívico, característico da cidadania, deveria estar relacionado apenas com a tomada de decisão a respeito de temas de interesse público, destinados a promover o bem comum, em vez de decisões relacionadas a interesses estritamente pessoais. Perceba-se que tais pretensões são razoavelmente diferentes, tendo em vista que o papel que propõem para os cidadãos tem objetivos diferentes.

Toti (2011) aponta para as mesmas preocupações em sua tese. A partir de um estudo bibliográfico, ele procura investigar as implicações do que fica pendente na educação em ciências quando se toma o conceito de cidadania como principal mote sem esclarecer o que se pensa desse conceito, dos pontos de vista político e pedagógico. Tal problema se relaciona também, segundo o autor, às dificuldades de conceituar mais precisamente a ideia de cidadania; embora um exercício difícil, é necessário, se a "EC pretende interpenetrar cada vez mais campos mais sociais, politizados e relevantes para a sociedade" (p.12). Além disso, Toti (2011) coloca a preocupação com a perda de força e influência do conceito de cidadania, uma vez que

[11] Essa análise será aprofundada do ponto de vista historiográfico no capítulo 3.

tem sido utilizado de forma indiscriminada e imprecisa e aceito *a priori*, sem análises mais detidas.

Seguindo trilha parecida, Pinhão e Martins (2016) exploram alguns dos diferentes modelos de cidadania presentes na literatura e fazem um retrospecto histórico das diversas reformas educacionais brasileiras desde a reforma Francisco Campos, em 1931, até os governos mais recentes do período democrático, de Lula e Dilma Roussef. Articulando a análise histórica com os conceitos levantados, as autoras trazem importantes questões para o debate, afirmando a necessidade de que a área de Educação em Ciências enxergue a ideia de educar em ciências para a cidadania "no mundo concreto", ultrapassando visões ingênuas ou que possam reforçar visões tecnocráticas de tomadas de decisão, despolitizando o debate.

Tais problemáticas não estão presentes apenas na literatura nacional, mas também em estudos internacionais. Jenkins (2006) traça uma análise histórica de como começou-se a pensar em educação para a cidadania no contexto do Reino Unido. Como outros estudos, estabelece o período pós-segunda guerra como um ponto crítico nessas discussões, onde a educação científica passa por um processo de humanização em resposta aos horrores daquele período, em especial por meio do movimento de reforma curricular "General Science". Jenkins (2006) questiona, no entanto, que caminho deveria ser seguido, tendo em consideração tantos contextos diferentes em nível mundial e ainda as diferentes correntes dentro do próprio movimento de humanização da educação em ciências.

Pais e Costa (2017), também buscando respostas para a questão da cidadania, investigam os antagonismos presentes nas pesquisas e políticas públicas que envolvem o conceito de "cidadania global". Muitas vezes, as políticas educacionais que se utilizam desse conceito, buscam apassivar a política em nome do consenso, articulando sentidos antagônicos em torno do termo e acomodando-os em nome de um certo pragmatismo. Lopes (2012) já havia apontando a ideia de cidadania como um exemplo de "significante vazio", isto é, enxergando-o a partir da teoria do discurso de Laclau – também utilizada por Pais e Costa (2017) –, a autora defende que o significado de cidadania é propositalmente estabelecido como vago e fluido pelo discurso hegemônico, que assim consegue acomodar demandas diversas e até mesmo antagônicas, mantendo-se hegemônico.

O que é importante ressaltar aqui é que, independente do que defendem cada um desses estudos sobre qual deve ser o "modelo" de cidadania que compete à

educação em ciências construir, este pode ser enxergado como um movimento que se encaixa na ideia de “explicitar variáveis escondidas”, de que Carter (2014) fala. A cidadania tem sido cada vez mais explorada de forma crítica nos estudos sobre Educação em Ciências, e não tomada como um “dado”. Tomar consciência desse jogo envolvendo não apenas esse, mas outros conceitos na Educação em Ciências, mostra uma tendência a politização desse campo, no primeiro sentido definido por Chauí.

1.1.2 Construção de subjetividades

Alguns trabalhos vêm trazendo análises que recolocam a questão das subjetividades na Educação em Ciências. Isso significa lembrar que a tarefa da educação em ciências está circunscrita na tarefa da educação de uma forma geral, e se traduz na formação de sujeitos. Sendo assim, aquilo que fazemos em sala, os materiais didáticos, as formas de avaliação e os demais aspectos do ensino estão embebidos em ideologia e ajudam a moldar os traços das subjetividades que se formam.

Os trabalhos de Bazzul (2012) e Carter (2014), por exemplo, indicam a importância de notar o papel da ideologia na educação em ciências. Não é possível ensinar ciências em um mundo hermético às ideologias. A ideologia se manifesta através de aspectos que são tidos como “dados” ou sobre os quais não se fala quando se trata da ciência. Esses “fatos consumados”, ou aspectos concebidos como naturais a respeito da ciência (que incluem financiamento, prioridades de pesquisa, mas não apenas) são inescapavelmente ligados à realidade social mais ampla e, portanto, à ideologia que a sustenta (BAZZUL, 2012). Em outras palavras, a ideologia passa a ser um discurso pervasivo, naturalizado, que regula os corpos e mentes, estimula valores como a competição e o individualismo, a construção do *homo oeconomicus*, empreendedor de si em um mundo cujo valor incontestado está no empreendedorismo (CARTER, 2014; BAZZUL, 2014).

Bazzul (2012), ao analisar um livro didático de ciências, aponta como determinadas afirmações e propostas de exercícios estão carregadas da ideologia neoliberal. Em um exemplo analisado, o autor destaca a frase “a competição é o que move a ciência”, colocada como algo natural, em destaque, na proposta de exercício do livro-texto. Em seguida, questiona o papel da competição frente ao da colaboração, que também desempenha importante papel na ciência. Tanto o exercício proposto quanto as instruções ao professor não indicavam esse (a perspectiva da competitividade na

ciência) como um ponto a ser debatido, mas sim como algo que os estudantes deveriam aprender/absorver. Ao permanecerem intocadas, tomadas como “dado natural” as perspectivas veiculadas pelo livro didático contribuem para a formação de sujeitos inculcados na ideologia neoliberal.

Outro ponto trazido por Carter (2014) se refere aos jargões que ajudam a “esconder variáveis”, na medida em que são naturalizados em determinada área. Sua sedimentação ajuda a fomentar novas pesquisas que nem sempre se reportam criticamente a esses termos, mas os adotam e avançam na pesquisa específica de cada área como se estivessem num vácuo político. Bazzul (2014) reforça essa ideia ao lembrar do comentário de Jay Lemke, que dá conta do conservadorismo que impera no campo da Educação em Ciências. O autor aponta que a adoção de acrônimos ou jargões (STS, NOS, STEM, STEAM, Alfabetização Científica), em geral, torna obscuro os pressupostos políticos, filosóficos, históricos e socioculturais dessas correntes. Porém, há uma aparente pressão para que se use estes jargões para que a pesquisa seja identificada como pertencente à área (BAZZUL, 2014).

Um dos jargões bastante conhecidos na área de Educação em Ciências, o movimento “Ciência para Todos”, que ganhou impulso na década de 80 e 90 foi analisado criticamente por Barton (1998). A autora realiza o exercício proposto por Bazzul e Carter, de enxergar os pressupostos políticos por trás dos jargões, e chega à conclusão, entre outras, que tal jargão se alimenta da premissa de que se forem providas igualdades de condições para todos e todas a respeito do ensino de ciências na escola, logo todos deveriam alcançar o mesmo desempenho; em outras palavras, se um aluno pobre falha, a culpa é dele próprio em certo sentido. Ou seja, novamente é veiculada uma perspectiva neoliberal implícita. Contra essa perspectiva, Barton (1998) desenvolve um argumento baseado nos estudos feministas e em um estudo de caso de uma estudante nos EUA, que advoga uma contextualização radical do ensino de ciências, evitando que seja apenas uma preleção de conteúdos, mas que signifique o empoderamento de sujeitos para agir criticamente na sociedade.

Ainda dentro das perspectivas que lidam com a politização da educação em ciências, Tolbert e Bazzul (2017) destacam que essa postura de “revolver o terreno” da Educação em Ciências, buscando investigar e esclarecer os posicionamentos por trás dos jargões e pesquisas desenvolvidas na área, pode ajudar na resistência contra a cultura da testagem (Miller, 2014) na educação em ciências, contribuindo para que professores possam se posicionar de maneira crítica em relação aos padrões

curriculares estabelecidos e, assim, propor alternativas que levem a promoção da igualdade e justiça social na sala de aula e na sociedade como um todo, desafiando a monocultura neoliberal presente na educação em ciências.

1.1.3 Um "chamado para ação"

O sentimento de urgência diante da catástrofe natural que parece se avizinhar à nossa civilização tem motivado diversos estudos que propõem uma Educação em Ciências que vá além do discursivo, propondo aos estudantes uma ação efetiva no mundo. Este movimento talvez seja mais perceptível próximo ao campo de pesquisa da Educação Ambiental, mas também se faz presente em outras instâncias da Educação em Ciências.

Talvez um dos trabalhos mais conhecidos nesse sentido seja o de Derek Hodson (2003), que propõe um "tempo de ação" em dois sentidos: o primeiro no sentido de reformar o currículo de ciências, que deixou de estar colado às necessidades, interesses e aspirações da formação de cidadãos; segundo, o autor argumenta que é necessário desenvolver currículos que estejam voltados à ação sociopolítica, ou seja, de futuros cidadãos que não se acomodem a fazer uma "crítica de poltrona". O primeiro aspecto já foi discutido na seção 1.1.1. Nos concentraremos agora no segundo aspecto apontado por Hodson (2003), sobre ação sociopolítica.

Comentando esse aspecto, Derek Hodson é ainda mais explícito em seu artigo "*Science Education as a Call to Action*" (2010), no qual retoma a proposição dos 4 níveis para o desenvolvimento curricular propostos em trabalhos anteriores:

1) Observar os impactos da ciência e tecnologia na sociedade e perceber a ciência como imbricada culturalmente;
2) Reconhecer que o desenvolvimento tecnológico e científico está inextrincavelmente ligado à distribuição de poder e riquezas;
3) Desenvolvimento de visões próprias sobre os diferentes temas e estabelecer seus próprios valores que subjazem essas escolhas;
4) Preparar-se para e engajar-se em ações a respeito de questões sócio-científicas e ambientais.

Hodson (2010) chama atenção para diversos pontos importantes relacionados a esses 4 níveis de desenvolvimento curricular. Um dos pontos, que enfatizamos, trata-se da impossibilidade de uma educação neutra de valores e crenças. Nesse sentido, cabe dizer que o terceiro nível é fundamental para que se percebam quais são os valores e crenças que subjazem cada visão de mundo que se apresenta, inclusive a do próprio professor, tendo em vista a impossibilidade de neutralidade. Seguindo principalmente o nível 4, surgiram as abordagens ativistas para a educação em ciências.

Como movimentos recentes na área que preocupam-se com esse tema, podemos citar o lançamento do primeiro número do periódico *Journal of Activist Science and Technology Education* em 2009 (BENCZE; ALSOP, 2009), a publicação de um número especial sobre ativismo na educação em ciências, em 2010, pela revista *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education* (ALSOP; BENCZE, 2010) e, ainda, o lançamento de um livro da série *Cultural Studies of Science Education* (Editora Springer) exclusivamente sobre ativismo na educação em ciências (BENCZE; ALSOP, 2014). A ideia de "ativismo na educação em ciências" tem sido entendida por esses (e outros) autores como o movimento de tornar as práticas e as políticas públicas em educação mais engajadas do ponto de vista político e ético/moral, além de socialmente e ambientalmente sensíveis.

Alsop e Bencze (2014) fazem a proposta de uma educação em ciências mais engajada, voltada à ação sociopolítica, justamente como propôs Hodson (2003; 2010). Nessa coletânea organizada pelos autores, é possível encontrar desde aprofundamentos teóricos sobre o que significaria uma educação em ciências "ativista" ou "voltada para o sociopolítico" até a análise de atividades realizadas seguindo essa perspectiva[12]. Bencze (2017) organizou, alguns anos mais tarde, um livro que consolida seu projeto STEPWISE (*Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Society and Environment*), também versando sobre a perspectiva do ativismo na Educação em Ciências. Um exemplo de um dos modos como vem sendo apropriada a perspectiva ativista na Educação em Ciências é trazida por Marques e Reis (2017) em trabalho com estudantes de idades entre 12 e 13 anos, no qual desenvolveram projeto de produção e divulgação de *videocasts* sobre poluição

[12] Alsop & Bencze (2014) apontam que a ideia de "ativismo" tem sido mal compreendida em diversos contextos e no imaginário social de uma forma geral. No entanto, os autores a concebem, assim como Barton & Tan (2014) como uma atitude diária, atenta às situações locais. Assim, o conceito de ativismo teria alguns benefícios, como sua flexibilidade, que permitiria a auto identificação de muitas pessoas, mesmo as com divergências políticas e educacionais. É, ainda, um termo orientado à ação e que por portar certa controvérsia, convida à reflexão.

ambiental. No processo de criação dos vídeos, os estudantes pesquisaram informações sobre temas relacionados à poluição ambiental e ao final além de divulgarem o resultado online, organizaram uma sessão para apresentar e discutir seus próprios trabalhos com o restante da comunidade escolar.

De uma forma geral, os trabalhos que envolvem a perspectiva do currículo voltado para ação sociopolítica trazem consigo a ideia de ação “aqui e agora” (durante a própria escolarização), segundo o argumento de que os estudantes precisam experimentar a participação em ações sociopolíticas, justamente para evitar a chamada “crítica da poltrona”, onde os estudantes possuem o conhecimento, mas não experimentaram “na prática” a ação sociopolítica (HODSON, 2003; 2010).

1.1.4 Algumas reflexões

As três categorias apresentadas nas últimas seções possuem diversas interconexões e não devem ser enxergados de forma apartada. Não apenas pela natureza heurística da decisão aqui tomada de dividir e categorizar dessa maneira tais estudos, mas também porque ao enxergá-las separadamente, perdemos a potência que pode estar localizada nas interseções.

A perspectiva do ativismo na educação em ciências, se analisada com maior cuidado, está bastante ligada à discussão sobre cidadania no mesmo campo. Por trás de ambas, há a percepção de que a formação dos estudantes deve servir para que eles, usando seus conhecimentos sobre ciência, possam atuar de forma ativa na sociedade, havendo diferença nas percepções do que significa essa atuação e em que âmbitos ela se dará, conforme discussão anterior. Assim, o que se percebe em certo sentido na educação em ciências ativista, é uma radicalização da ação cidadã presente na discussão sobre cidadania na educação em ciências.

Outro aspecto que entendo ser importante ressaltar é que todas as perspectivas, em algum nível, estão lidando com o problema da construção de subjetividades, referido na segunda seção. Quando se discute o modelo de cidadania que deveria ser o “farol” para a educação em ciências, está em discussão implícita o modelo de cidadão e de sujeito implicado nessa perspectiva de cidadania. Optar por determinado modelo em detrimento de outro, além de abrir espaço para uma gama de caminhos a serem seguidos para a educação em ciências, também bloqueia algumas possibilidades. Quando Hodson (2003; 2010) fala da necessidade de o estudante viver determinados

tipos de experiência, ou quando Rudolph e Horibe (2016) ressaltam que a educação relacionada a temas relativos ao bem comum devem prevalecer sobre uma educação voltada para decisões pessoais, trata-se de construções de subjetividades. Tanto quanto da que explicitamente fala Bazzul (2012) em sua análise sobre livros didáticos.

Sendo assim, não pretendo aqui propor uma redução dos diversos debates que foram trazidos nas seções anteriores a uma questão de construção de subjetividades na Educação em Ciências, mas sim dizer que as referidas discussões estão intimamente relacionadas e são facetas diferentes do mesmo movimento de politização da educação em ciências de que falei na abertura do capítulo. Esse movimento é fundamental para entender a educação em ciências da mesma forma que a História, a Filosofia e a Sociologia das ciências percebem seus objetos disciplinares de estudo: como algo não-neutro, permeado de intenções, crenças e valores. Trata-se de propor que a variável política (CARTER, 2014), agora exposta, não torne mais a se ocultar de nossas análises na Educação em Ciências, o que implica dizer que é fundamental envidar esforços e atenção para tornar transparentes nossas posições em cada pesquisa e análise realizadas na educação científica.

Cabe ainda pontuar que, conquanto a politização da Educação em Ciências pareça uma perspectiva nova para este campo de estudos, estudos como os de Hodson (1994), Barton (1998), entre outros, mostram que, ainda que não tenham sido uma corrente hegemônica no passado, estes estudos possuem uma história dentro do campo, mesmo em âmbito nacional, história essa que foge ao nosso escopo tratar nesse capítulo.

1.2 Um mundo em crise

Ainda na introdução, onde apresento as motivações iniciais para escrever essa tese, apresento questões relacionadas aos problemas do mundo que, com alguma frequência, estão nas manchetes dos principais jornais e que povoam muitas mentes preocupadas com o futuro. Quais sejam: conflitos ao redor do mundo, a instabilidade política no Brasil após o golpe de Estado de 2016, os crescentes problemas ambientais que são produto do modelo sócio-político-econômico que escolhemos viver, entre outros. Esses aspectos dão a dimensão da crise que vivemos, em sentido *lato*. Porém, a própria ideia de crise pode assumir muitos sentidos, não apenas relacionados aos contextos de seu uso (isto é, qual tipo de crise), mas também relacionados aos

diferentes tipos de atitudes que podem derivar da caracterização de um determinado cenário como um cenário de crise. Como exercício de pensamento, se imaginamos uma crise alérgica do aparelho respiratório, a atitude derivada dessa crise é tomar o medicamento correspondente; em um cenário de crise relacionada à guerra, algumas medidas como toque de recolher, controle de circulação de pessoas, entre outros, podem ser adotados. Em nosso posicionamento aqui estabelecido, queremos evitar alguns desses sentidos, adotando outros, que ficarão claros mais à frente.

No âmbito de questões relacionadas a temas científicos, temos como epítome de crise no atual momento a questão ambiental no mundo. Embora haja grupos na sociedade que neguem a responsabilidade antrópica no aquecimento global e em diversas outras perturbações do clima do planeta, na comunidade científica este já é um fato superado, no sentido de que não é mais um tema objeto de controvérsia científica (ORESKES, 2007). Apesar disso, há um fenômeno recente de reabertura de controvérsias já superadas, nos quais a opinião pública tem vacilado em torno de posicionamentos não só acerca do aquecimento global, mas sobre o formato da Terra, a utilização de vacinas, entre outros. Voltaremos adiante a esse assunto.

A atividade antrópica no planeta Terra foi e tem sido de tal ordem que recentemente os cientistas cunharam o termo *Antropoceno* para se referir a uma nova era geológica (ainda pendente de aprovação pela comissão internacional de estratigrafia). Os cientistas que sustentam tal ideia argumentam que há evidências suficientes para afirmar que a ação humana deixou uma impressão definitiva na formação geológica da Terra, marcando assim uma nova era (LEWIS; MASLIN, 2015; TRISCHLER, 2016). Ainda há controvérsias sobre se de fato vivemos uma era diferente do Holoceno, no qual já há como traço significativo a existência da raça humana, ou ainda sobre qual seria a data de início dessa nova era, se em 1610 (com grandes mudanças nos fluxos globais de espécies após a colonização, entre outros marcadores) ou em 1964 (marcador de período conhecido como grande aceleração), mas o conceito Antropoceno já vem se estendendo culturalmente (TRISCHLER, 2016) e pode ser observado em diversos trabalhos nas ciências humanas e sociais.

Trischler (2016) aponta que, pela primeira vez, a decisão sobre a criação de um novo período geológico é feita por um grupo interdisciplinar e não apenas de geólogos. E nos trabalhos que têm se apropriado do conceito de *Antropoceno* em um sentido cultural, os principais questionamentos têm girado em torno da relação natureza-cultura para além da dicotomia herdada da modernidade e da discussão da relação humano e

não-humanos, no sentido de atribuir agência a fatores não-antrópicos. Haraway (2015) traz, baseada em outros autores, a interpretação do *Antropoceno* sob outros prismas, que levam a denominações como *Capitaloceno*, *Plantationceno* e o seu próprio conceito, que não é uma outra denominação do *Antropoceno*, mas que constrói-se sobre esse, o *Chthuluceno*[13]. Muitos desses conceitos se apoiam na crítica ao antropocentrismo presente no conceito original; a ideia de *Capitaloceno*, conforme o nome sugere, atribui muito da devastação de nossos tempos ao sistema capitalista; o de *Plantationceno* centra suas atenções na forma de cultivo e exploração da terra e *Chthuluceno* – embora seja complicado defini-lo tão brevemente – é um conceito criado por Haraway que joga com a invenção de novas histórias sobre o passado e sobre o futuro, agindo nos devires e na articulação constante para a construção desses futuros.

Além da crise ambiental, e voltando ao tema da manutenção de controvérsias artificiais, há uma preocupação mundial em torno à propagação das chamadas *Fake News*[14] e seu potencial de influenciar democracias ao redor do mundo. Em 2016, a palavra "pós-verdade" (post-truth) foi indicada pelo Oxford Dictionaries como sendo a palavra do ano. O significado deste adjetivo está relacionado a algo que "está relacionado ou denota circunstâncias em que os fatos objetivos são menos influentes em moldar a opinião pública do que apelos para emoção e crenças pessoais" (OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2018). Uma pesquisa dos responsáveis pela eleição mostrou que, embora tal termo tenha sido cunhado até dez anos antes, seu uso intensificou-se em 2016, relacionado principalmente ao contexto das eleições estadunidenses e ao Brexit, isto é, o referendo cujo resultado decidiu pela saída da Inglaterra da União Européia (*idem*).

Há extensivo debate sobre o tema, tanto no âmbito da opinião pública quanto dentro de comunidades acadêmicas como a dos *Science Studies*. Neste último âmbito, as discussões já datam de um pouco antes de 2016, e estão relacionadas ao dilema dos aliados errados. Isto é, há uma discussão sobre se as afirmações sobre a construção social do conhecimento científico e a utilização do termo "verdade" cada vez mais "entre aspas" (denotando a sua relativização) não teriam sido detonadores para o processo de desconstrução pública das afirmações científicas ou de manutenção de controvérsias que já não mais existem no meio científico (LYNCH, 2014; ORESKES,

[13] Os termos originais traduzidos, na ordem são: Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene e Chthulucene.
[14] Fake News são notícias de conteúdo falso que têm sido cada vez mais comumente propagadas através de redes sociais e acreditadas como verdade por parte do público.

2007; BAKER; ORESKES, 2017). Colocando de forma ainda mais clara, alguns agentes com intenções políticas “feias”, para usar termos de Baker e Oreskes (2017), estariam se aproveitando de pequenos desacordos no interior da ciência sobre o clima, por exemplo, para amplificá-los, fabricando uma controvérsia inexistente. Ou ainda, estariam utilizando afirmações dos estudos sociais da ciência que, em alguma extensão relativizam a validade do conhecimento científico, para negar a importância e validade da ciência.

As discussões sobre a responsabilidade dos *Science Studies* no atual estado de descrédito da informação científica em alguns âmbitos, e também sobre o que fazer para reverter esse cenário têm sido acaloradas. Fuller (2017) sugere que os *Science Studies* devem assumir o crédito por ter utilizado em sua própria pesquisa e por ter popularizado como método a utilização de pós-verdades. Sendo a ciência um grande jogo, os praticantes deveriam se acostumar com a disseminação de pós-verdades, tentando solapá-las. Baker e Oreskes (2017) contrapõem a posição de Fuller, criticando a ideia de que a ciência seria apenas um grande jogo. Para isso, mostram como a percepção de “ciência como jogo”, popularizada a partir de Wittgenstein (trazido aos *Science Studies* por Bloor), aproxima-se da ideia neoliberal, como um “mercado de ideias”. Os autores apontam que esse “jogo” nem sempre é justo e igualitário; falam do erro que é igualar epistemologicamente e moralmente os argumentos de empresas que escondem informações a afirmações científicas como se ambas fossem ciência. Afirmam que o papel dos *Science Studies* não deve ser apenas aplicar o princípio da simetria e garantir que “todas as vozes sejam ouvidas” como propõe Steve Fuller, pois há vidas em jogo. Por isso, defendem que o campo deve retomar em suas análises as noções de “verdade” e “fato”, além de outras, sem necessariamente colocá-las entre aspas, isto é, tomá-los não simplesmente como se fosse algo negativo falar de verdades e fatos (BAKER; ORESKES, 2017).

Como tais discussões estão ainda em pleno vapor dentro do próprio campo dos *Science Studies*, a intenção ao trazê-las aqui é afirmar que a crise da ciência está longe de ser resolvida e constitui mais um exemplo do momento turbulento que vivemos em vários âmbitos. Latour (2004) aponta o mesmo cenário, mais de uma década antes da comentada escolha feita pela equipe do dicionário de Oxford. Naquele momento, o que o chamava sua atenção eram a credibilidade, mesmo no meio acadêmico, de teorias da conspiração sobre o atentado terrorista às Torres Gêmeas anos antes, como a sustentação de Baudrillard de que jamais teria havido qualquer atentado terrorista contra

as torres. Tal trabalho de Latour ficou conhecido como um famoso *mea culpa* em relação à situação de perda de confiança na ciência.

Além disso, cabe ainda destacar as marchas pela ciência, que ganharam visibilidade no mundo todo em anos recentes[15]. As marchas pela ciência começaram a acontecer em escala mundial de forma coordenada a partir de 2017, organizadas sempre no dia da Terra, 22 de abril. A sua missão, conforme descrita no site do movimento é:

> A Marcha pela Ciência defende uma ciência com financiamento robusto e cujas ações sejam divulgadas publicamente como um pilar para a liberdade e prosperidade humana. Nós nos unimos como um grupo diverso e não-partidário para defender uma ciência que defenda o bem comum, e para que os líderes políticos e formuladores de políticas promovam políticas públicas baseadas em evidências da pesquisa e orientadas ao interesse público.[16]

Os movimentos a favor da ciência são importantes na medida que mostram o envolvimento dos cientistas na construção da opinião pública sobre a ciência, sua conscientização enquanto atores políticos nesse sentido e, também, o envolvimento ativo de setores da sociedade em defesa da ciência. Isso mostra que há em curso uma grande ebulição em torno da temática do conhecimento científico, sua validação e seu valor / lugar em uma sociedade democrática, mesmo quando a própria noção de democracia parece estar em disputa.

Neste ponto, talvez possamos notar que há a possibilidade de estarmos olhando sob óticas diferentes para problemas muito parecidos, ou com raízes que se conectam. Isso é, há fios que conectam o problema da pós-verdade com o da crise ambiental. E esses dois problemas a outros tantos, dos quais a existência de uma marcha a favor da ciência é um sintoma. Conforme Oreskes (2007) aponta, as empresas que estão causando grandes danos ao meio ambiente, frequentemente se utilizam da pós-verdade como forma de aumentar seu poder de influência, o que aumenta, por conseguinte, os danos que causam. Podemos estender ainda a análise e notar que muitas dessas empresas estão envolvidas com disputas no campo contra povos indígenas, ou ainda, implicadas em casos de corrupção de governos ao redor do mundo, entre outros. Tal extensão problemática nos desafia a pensar em soluções, ou questionar a própria existência dessas soluções, tendo em vista que se separados os problemas parecem

[15] Consulte em <www.marchforscience.com>.
[16] No original: “The March for Science champions robustly funded and publicly communicated science as a pillar of human freedom and prosperity. We unite as a diverse, nonpartisan group to call for science that upholds the common good, and for political leaders and policymakers to enact evidence-based policies in the public interest.”. Retirado de <www.marchforscience.com>.

ser menores e mais facilmente (ou menos dificilmente) abordáveis, quando percebemos conexões entre eles, a situação parece tornar-se ainda mais complexa.

Na próxima seção, proporemos um olhar filosófico para a crise, baseado na perspectiva pós-colonial, que a julga como uma crise do modelo de conhecimento que temos hoje como hegemônico.

1.2.1 A crise do conhecimento em Boaventura de Sousa Santos

Em palestra de 1985, Boaventura de Sousa Santos[17], sociólogo português, fala sobre a emergência de um novo paradigma nas ciências, e ao mesmo tempo, o cenário de crise do paradigma vigente até então. Na esteira da crítica à ciência que se seguiu à Segunda Guerra Mundial, Santos (1987/2008) caracteriza o que ele chama de "paradigma vigente" dentro da ciência como algo em crise com seus próprios princípios. Retomando Rousseau, Boaventura questiona sobre a relação entre ciência e virtude e sobre as razões que teríamos para substituir o conhecimento vulgar da natureza pelo conhecimento científico – produzido por poucos e inacessível à maioria – senão os motivos tomados como certos pela própria ciência.

Boaventura afirma que a forma totalitária como o conhecimento científico se impõe nega a racionalidade de conhecimentos alternativos, isto é, que não se pautam pelos princípios epistemológicos e regras metodológicas da ciência moderna (SANTOS, 1987/2008). Esse conhecimento teria se imposto pela força política, econômica e militar do processo de colonização e expansão do capitalismo moderno, subjugando as formas de conhecimentos não-ocidentais e não-cristãs; mesmo os conhecimentos que foram marginalizados durante a ascensão da ciência moderna dentro do próprio contexto europeu, como a teologia e filosofia ocidentais, tiveram pretensão universalizante nesse processo de subjugar o conhecimento das colônias, o que reforça a tese de associação entre o movimento político de dominação e o movimento epistemológico de substituição dos conhecimentos autóctones por um conhecimento europeu, a que Boaventura chama de epistemicídio (SANTOS; MENESES, 2010). O autor considera ainda que, nesse processo epistemicida, a lógica da apropriação/violência esteve (e está) presente,

[17] Ao contrário do usual em textos acadêmicos, que se utiliza sempre do sobrenome para se referir aos autores, nos referiremos ao sociólogo ora como Santos, ora como Boaventura, não apenas para tornar o texto mais fluido, mas para remeter à forma como o autor é conhecido mundialmente.

eliminando a possibilidade do diferente, ao mesmo tempo que se apropria de alguns conhecimentos e práticas:

> "[...] em geral, a apropriação envolve incorporação, cooptação e assimilação, enquanto a violência implica destruição física, material, cultural e humana. Na prática, é profunda a interligação entre a apropriação e a violência. No domínio do conhecimento, a apropriação vai desde o uso de habitantes locais como guias e de mitos e cerimónias locais como instrumentos de conversão, à pilhagem de conhecimentos indígenas sobre a biodiversidade, enquanto a violência é exercida através da proibição do uso das línguas próprias em espaços públicos, da adopção forçada de nomes cristãos, da conversão e destruição de símbolos e lugares de culto, e de todas as formas de discriminação cultural e racial." (SANTOS, 2010b: 29-30)[18]

Santos e Meneses (2010) consideram que todo conhecimento é contextual, o que não exclui a ciência moderna europeia; sendo assim, diversas características dessa ciência, consideradas muitas vezes como "naturais" ou "transcendentais", na verdade são fabricadas e contingentes. Como exemplo das ditas características estão a separação entre humano e natureza e o método de divisão e classificação para depois compreender e determinar as relações em um determinado sistema, que são ambas heranças do cartesianismo e não algo óbvio e natural (SANTOS, 1987/2008). A ciência moderna expulsa de sua análise uma série de características que estão presentes em outros tipos de conhecimento, como o conhecimento prático do senso comum. Neste, estão presentes a causa e a intenção de determinado conhecimento, ao passo que na ciência moderna, apenas as causas são inspecionáveis, enquanto a intenção é negligenciada (*idem*). Com isso, a ciência moderna arroga-se detentora de um privilégio epistemológico que a faz pressupor que ela é "feita no mundo, mas não é feita de mundo" (SANTOS, 2008). Assim procedendo, julga produzir um conhecimento que é tão próximo da verdade quanto humanamente possível.

Em artigo de 2002, Boaventura aprofunda sua análise sobre as características da ciência moderna, evocando o conceito de razão indolente para caracterizar este modelo de racionalidade (SANTOS, 2002: p. 239/240). Segundo o autor, a indolência da razão que caracteriza o modelo vigente, se manifestaria segundo quatro formas diferentes:

- *Razão impotente*: aquela que não se exerce porque pensa que nada pode fazer contra uma necessidade concebida como exterior a ela;

[18] Como nota de estilo, ressalto que as citações diretas (principalmente as curtas) poderão apresentar pequenas variações em relação ao original, tendo em vista a diferença de grafia de algumas palavras entre o português de Portugal e o brasileiro.

- *Razão arrogante*: que não sente necessidade de exercer-se porque se imagina incondicionalmente livre e, por conseguinte, livre da necessidade de demonstrar a sua própria liberdade;
- *Razão metonímica*: a razão metonímica, que se reivindica como a única forma de racionalidade e, por conseguinte, não se aplica a descobrir outros tipos de racionalidade ou, se o faz, fá-lo apenas para as tornar em matéria-prima;
- *Razão proléptica*: que não se aplica a pensar o futuro, porque julga que sabe tudo a respeito dele e o concebe como uma superação linear, automática e infinita do presente

Em seu texto, o autor dedica-se a entender duas dessas razões, a metonímica e a proléptica. Aqui em particular, nos debruçaremos mais à frente sobre o conceito de razão metonímica, no entanto, neste momento este dado nos serve como caracterização do paradigma vigente por Boaventura. Santos (2002) argumenta que esse conjunto de características da ciência moderna bloqueia experiências possíveis, ou seja, constitui um desperdício de experiência. Há que se perceber que a experiência social no mundo é muito mais variada que a tradição científica ou filosófica ocidental, e essa riqueza está a ser desperdiçada, na medida em que a crença de que não há modelo possível fora do que está posto eclipsa a existência de alternativas.

Até aqui, as propostas de Boaventura ajudam a caracterizar o que é esse pensamento vigente e quais são suas características. Porém, em que termos o autor enquadra a chamada crise do conhecimento? Retornando ao seu livro “Um discurso sobre as ciências” (SANTOS, 1987/2008), o autor propõe que condições teóricas e sociais são responsáveis por tal crise. Tratando das condições teóricas, traz como exemplos emblemáticos os estudos de Einstein sobre simultaneidade e de Heisenberg no desenvolvimento do princípio da incerteza. Einstein, com os trabalhos em torno a relatividade coloca em xeque os conceitos espaço e tempo absolutos de Newton, destacando que dois eventos percebidos como simultâneos em um referencial podem não o ser para um outro. Já Heisenberg assevera que não se pode reduzir simultaneamente o erro associado à medição de velocidade e posição de partículas em sistemas submicroscópicos, ou seja, associa uma incerteza intrínseca e permanente ao ato de conhecer nessas dimensões. Além disso, Boaventura analisa o teorema da incompletude de Kurt Gödel, na matemática. Tal teorema afirma que, segundo as regras da lógica matemática, é impossível encontrar dentro de um dado sistema formal a prova de sua própria consistência, sendo sempre necessário recorrer, portanto, a assumpções

ou condições externas àquele corpo de conhecimento. Considerando a importância do conhecimento matemático para diversas ciências após o estabelecimento das ciências modernas, não é muito difícil imaginar a repercussão e as consequências de tal afirmação.

Além desses importantes marcos na história das ciências da natureza e matemáticas, Boaventura aponta a mudança nas ciências sociais e humanidades ao longo do processo de crescimento das ciências matemáticas e da natureza. O primeiro movimento diz respeito à submissão das ciências sociais aos métodos e princípios estabelecidos pelas ciências da natureza, fortemente impregnadas pelo positivismo, especialmente no século XIX. Além disso, a expulsão das humanidades a um lugar marginal na produção do conhecimento é algo importante nesse processo. Conforme as ciências naturais foram se associando às forças produtivas e ganhando prestígio e poder, as questões que passaram a importar foram as questões produzidas por essa ciência e passíveis de serem respondidas apenas pelas ciências dominantes (SANTOS, 1987/2008; SANTOS, 2010b). Isso começa a mudar, segundo Boaventura, quando dentro das próprias ciências da natureza começam a surgir teorias que se utilizam de conceitos das ciências sociais para dar conta de explicar alguns de seus fenômenos, como noções de auto-organização em nível microscópico, imprevisibilidade e história de sistemas físicos (SANTOS, 1987/2008). No aspecto social, Boaventura chama a atenção para o surgimento de movimentos dentro da própria comunidade científica que visavam refletir sobre aspectos filosóficos e sociológicos da ciência. Ainda que Boaventura não se refira explicitamente a esse grupo, podemos destacar hoje a atuação marcante dos *Science Studies*, com contribuições não só de acadêmicos com formação científica, mas também de sociólogos, historiadores, filósofos, antropólogos, entre outros.

Isso levou-o a crer, ainda em “Um discurso sobre as ciências” (1987/2008), que a mudança no paradigma vigente se faria sob a égide das ciências sociais e das humanidades, em contraposição ao que havia ocorrido antes, onde o positivismo marginalizou as ciências sociais, humanidades e conhecimentos considerados como locais. Reanalisando seu pensamento anos depois, Boaventura entende que não esteve totalmente errado, na medida que, de fato, o ramo das ciências da complexidade, do caos, dos sistemas auto-organizados continuaram se desenvolvendo; porém, o contrário também aconteceu, com a ascensão de disciplinas como a sociobiologia, em que advoga-se que, à medida que esse conhecimento avance, os processos mentais,

sociais e culturais poderão ser todos entendidos como uma extensão ou um consequência de mudanças a nível molecular (SANTOS, 2008).

Em trabalhos mais recentes, Boaventura reanalisa o problema da crise, adotando uma formulação mais ampla. Para ele, a diversidade contemporânea das "zonas de contato", que é fruto da globalização, envolve diferentes religiões, culturas, modelos econômicos, sistemas sociais e políticos e modos de vida cria uma discrepância entre perguntas fortes e respostas fracas (SANTOS, 2010b). Esse seria o *zeigeist*[19] da época, aquilo que é mais saliente quando buscamos caracterizar este momento de transição paradigmática, que ele chama de "crise final do paradigma sócio-cultural da modernidade ocidental". Em suas palavras:

> As perguntas fortes dirigem-se não só às nossas opções de vida individual e coletiva, mas sobretudo às fundações que criam o horizonte de possibilidades entre as quais é possível escolher. São, portanto, questões que provocam um tipo particular de perplexidade. As respostas fracas são aquelas que procuram responder sem pôr em causa o horizonte de possibilidades, imaginando nele virtualidades para esgotar o campo das perguntas e das respostas possíveis ou legítimas. Mas precisamente porque o questionamento dessa virtualidade está na raiz das perguntas fortes, as respostas fracas não atenuam a perplexidade que estas suscitam, podendo, pelo contrário aumentá-la. As perguntas e respostas podem variar de acordo com a cultura e a região do mundo. Contudo, a discrepância entre a força das questões e a fraqueza das respostas parece ser comum. (SANTOS, 2010b: 452)

Segundo Boaventura (2010b), as perguntas fortes deixaram durante muito tempo de ser objeto de reflexão, à medida que a ciência monopolizou as perguntas e repostas que "valiam à pena", e então temas como a existência de Deus, o sentido da vida, modelos de boa sociedade, entre outros, foram relegados a um plano subsidiário ou menos importante. Observe-se que, conforme assevera Santos (2010b), estes problemas, que dão origem às perguntas fortes que são feitas hoje e permanecem com respostas fracas, remetem todos ao problema da cientificidade, isto é, do fato de que a ciência não pode dar conta de todas as respostas. Uma conclusão importante que podemos sustentar a partir dessas ideias é que torna-se *mister* recolocar a ciência em seu lugar de produção humana, dentre outras produções humanas possíveis e/ou presentes contemporaneamente. Essa conclusão não é uma novidade: tal necessidade vem sendo reafirmada há muito tempo nos estudos do campo da Educação em Ciências. Porém, o que Boaventura nos lembra é que os efeitos da discrepância entre as perguntas fortes e respostas fracas são sentidas de formas muito diferentes em

[19] *Zeitgeist* é uma expressão em língua alemã cuja tradução significa "espírito de época".

partes do mundo distintas. No Norte global, enquanto são as respostas fracas que asseguram a dominação, no Sul global as respostas fracas traduzem-se em imposições ideológicas e violências de toda sorte, exceto as elites que constituem um pequeno grupo no Sul global cujas condições mimetizam as do Norte global (*idem*)[20]. Sem dúvida, esse dado dá um sentido de urgência a necessidade de reposicionamento da ciência e deixa clara uma intenção política para este movimento, que não é exclusiva nem centralmente epistemológico, mas em primeiro lugar, político.

Além disso, é importante destacar que a partir do pensamento de Boaventura, podemos afirmar que descarta-se qualquer papel salvacionista para a ciência, visto que tal construto humano é enxergado por este autor como um participante do jogo político e um elemento (certamente importante, mas ainda assim um elemento) dentro de uma esfera maior de disputa sobre qual sociedade construímos até aqui e qual sociedade queremos construir. Sendo assim, como exploraremos adiante, as propostas que aqui traçaremos sobre a educação em ciências não devem ser entendidas como um caminho para resolver definitivamente os problemas desta e da sociedade, de forma ampla. Em vez disso, são propostas que buscam refletir algumas possibilidades no campo teórico que, no entanto, ainda demandam investigações aprofundadas através de trabalhos empíricos que possam dar suporte às ideias apresentadas.

1.2.2 Enfrentando a crise: propostas de Boaventura de Sousa Santos

Uma característica do trabalho de Boaventura é que, vias de regra, o autor assume uma postura propositiva em relação aos problemas que são levantados a respeito da contemporaneidade. Suas propostas já inspiraram, por exemplo, a concepção e implementação da Universidade Federal do Sul da Bahia[21], onde a proposta da Ecologia de Saberes, de que falaremos adiante, foi tomada como inspiração para ações de ensino, pesquisa e extensão. Entretanto, há que se observar que tais propostas sofreram mudanças ao longo do tempo, incorporando novos aspectos do

[20] Cabe lembrar que no sentido aqui proposto, o Sul é concebido metaforicamente como “um campo de desafios epistêmicos, que procuram reparar os danos e impactos historicamente causados pelo capitalismo na sua relação colonial com o mundo”. Embora se sobreponha em parte ao sul geográfico, o Sul também representa as classes e grupos sociais dentro do Norte geográfico que foram submetidos à dominação capitalista e colonial e exclui as elites locais dentro do Sul geográfico (SANTOS; MENESES, 2010). Essa relação de dominação também se aplica a relações de poder profundamente desiguais como as relações “homem-mulher”, “brancos-negros”, entre outras.

[21] Disponível em: <http://www.ufsb.edu.br/wp-content/uploads/2015/05/Plano-Orientador-UFSB-Final1.pdf>.

marco conceitual que Boaventura desenvolveu com o passar dos anos, e abandonando algumas ideias. Nessa seção, nossa proposta é centrar principalmente em dois conceitos desenvolvidos por Boaventura, a partir dos quais teceremos o diálogo com a literatura da Educação em Ciências e com a História das Ciências com foco no ensino.

Em combate à razão metonímica e proléptica, apresentadas na seção anterior, Boaventura propõe dois conceitos-chave que depois são retomados em trabalhos posteriores e aprofundados sob algumas óticas. São eles os conceitos de sociologia das ausências[22] (SANTOS, 2002) e Ecologia dos Saberes (SANTOS, 2008). Buscaremos articular esses conceitos mais à frente, amparados por outras leituras do mesmo autor, com o objetivo de perscrutar como tais ideias podem auxiliar-nos a pensar novas formas, propósitos e caminhos para a Educação em Ciências.

Antes de apresentar os conceitos, entretanto, cabe retomar a ideia de Boaventura que é o ponto de partida para a proposição tanto da sociologia das ausências como da sociologia das emergências: a concepção de desperdício de experiência. Para o autor, há uma gama de experiências ao redor do mundo que é muito mais ampla e variada do que a tradição científica ou filosófica ocidental e que vem sendo desperdiçada na medida que é ocultada ou desacreditada (SANTOS, 2002). Para resolver esse problema, seria fundamental recorrer a uma nova racionalidade, pois a racionalidade vigente é parte do problema. Afinal, é o movimento da ciência de circunscrever a validade e aquilo que “vale a pena saber” aos questionamentos e respostas produzidos por si próprios que acaba por eclipsar essas experiências fora do eixo hegemônico (*idem*).

Nesse sentido, a razão metonímica é entendida como um dos principais mecanismos por meio dos quais a racionalidade ocidental mantém sua hegemonia: ela é obcecada pela ideia de totalidade, de exaustividade do conhecimento, da exclusividade; por isso, não faz sentido pensar em nada que esteja fora dessa totalidade, não cabe conceber que a compreensão do mundo pode exceder a racionalidade ocidental. Além disso, a razão metonímica opera por meio de um mecanismo de criação de totalidades (e de exclusão), que é a dicotomia, em que combina duas relações: de simetria e hierarquia. Essas duas relações, em conjunto,

[22] Boaventura propõe também, em par com a sociologia das ausências, o conceito de sociologia das emergências, que lidaria com a ideia de contrair o futuro, retomando a noção de cuidado com este futuro, entendido como escasso. Em nosso caso, nos circunscreveremos à sociologia das ausências, por entender que encontra maior ressonância no trabalho com História da Ciência no Ensino que propomos aqui. Entretanto, fica a opção de no futuro, estender o presente desenvolvimento para pensar as possibilidades para a articulação de uma sociologia das emergências no contexto aqui descrito.

constroem a totalidade pretendida por essa forma de racionalidade. Sendo assim, não faz sentido pensar o Sul se não for em relação com o Norte; ou o conhecimento tradicional, com o conhecimento científico; mulher / homem; primitivo / civilizado. Nestas dicotomias todas, o mecanismo de simetria oculta a proposição de uma hierarquia, sempre em favor dos segundos em relação aos primeiros.

A razão metonímica foi tornada possível a partir de uma concepção de tempo muito particular e que, assim como nos demais exemplos, assenta-se na ideia de totalidade para marginalizar as outras concepções de tempo existentes. O tempo é encarado como linear e o tempo presente é um instante muito breve, fugaz, entre o que "já não é e o que ainda não é" (SANTOS, 2002: p. 245). Isso leva a que consideremos como contemporâneo uma parte muito pequena do todo de experiências do mundo. Como exemplo, podemos pensar em um camponês lavrando a terra no nordeste do Brasil, em uma pequena fazenda administrada por sua própria família (a chamada agricultura familiar). Muitas pessoas, inculcadas com o ideário da razão metonímica podem encarar este camponês como alguém que pertence ao passado tendo em vista que suas técnicas de cultivo são próximas às técnicas de cultivo de décadas ou mesmo séculos passados. Poder-se-ia argumentar que tal raciocínio é natural, tendo em vista que hoje em dia (no presente), há a possibilidade da colheita mecânica e da utilização de monoculturas e fertilizantes, para aumento da produção e possibilidade de produzir em larga escala. Porém, tal concepção faz sentido apenas em uma racionalidade que pensa o tempo exclusivamente de forma linear, ou a "monocultura do tempo linear", como afirma Santos (2002: p.271), que atribui ao passado formas de viver que são contemporâneas. É importante entender que atribuir essas experiências ao passado é um esforço ativo e não algo natural. Essa atitude está intimamente relacionada às ideias de progresso e linearidade presentes em muitas concepções sobre a ciência moderna (embora já amplamente criticadas); conecta-se ainda à outra crítica feita pelo autor, que dá conta que o conhecimento científico ocidental apaga os rastros de intencionalidade de tal conhecimento, na medida que a crítica que atribui a prática do camponês ao passado não questiona-se sobre a intenção do sujeito em questão (em outras palavras: qual a necessidade de uma colheita mecânica naquele contexto?).

Partindo dessa ideia, Boaventura propõe a dilatação do tempo presente, buscando que essa dilatação faça caber, em um esforço ativo, o que a monocultura do tempo linear e do presente fugaz tornou parte do passado, em um esforço também ativo. Assim, o desperdício das experiências poderia ser combatido mais efetivamente. A isso,

Boaventura chama de Sociologia das Ausências, que está baseada em duas indagações: a primeira, entender por que uma concepção de tal ordem excludente de realidades tornou-se hegemônica e, principalmente, a segunda – por que meios poderíamos confrontar e superar essa concepção de totalidade assentada na razão metonímica (SANTOS, 2002)[23]. O autor, então, evoca o rompimento com as lógicas de produção de ausências que descreveremos brevemente a seguir:

- *Ecologia dos saberes*: conforme aprofundaremos a seguir, este conceito propõe questionar a monocultura do saber, identificando outros saberes com outros critérios de rigor, que operam em realidades declaradas não-existentes pela razão metonímica. A ideia central neste domínio é que não há ignorância em geral nem saber em geral, mas sempre que toda ignorância é ignorância de um certo saber e todo saber é superação de uma ignorância em particular.
- *Ecologia das temporalidades*: confrontar a ideia do tempo linear, mostrando que existem concepções diversas de tempo e que a primazia do tempo linear não segue de sua suposta superioridade, mas sim da primazia da modernidade ocidental, que o adotou como critério. Com isso, pretende-se reconhecer experiência consideradas como resíduo de um passado superado sob uma perspectiva linear para enxergá-las como alternativas possíveis hoje.
- *Ecologia dos reconhecimentos*: questionar a lógica de classificação social que existe por trás da razão metonímica. Boaventura afirma que nessa lógica ocorre a desqualificação dos agentes junto com as práticas das quais elas são protagonistas. De certa forma, a lógica da classificação social (desqualificação dos agentes) está intimamente ligada à monocultura do saber (desqualificação dos saberes).
- *Ecologia das trans-escalas*: trata-se de recuperar o que no conhecimento e nas práticas locais não é efeito da globalização hegemônica, para assim, possivelmente re-globalizar de forma contra-hegemônica.
- *Ecologia de produtividade*: questionar a lógica do produtivismo e o paradigma do crescimento econômico infinito e da primazia dos objetivos de acumulação

[23] Nesse ponto, Boaventura afirma que os estudos culturais e sociais da ciência, vertentes da sociologia crítica e estudos feministas têm abordado a primeira indagação, enquanto que ele irá se preocupar fundamentalmente com a segunda (SANTOS, 2002: 249/250).

> sobre os objetivos de distribuição, recuperando e valorizando os sistemas alternativos de produção.

Conforme observado pelo próprio Boaventura, todas essas formas de combate à razão metonímica, que constituem a sociologia das ausências, convergem na ideia de que a realidade não pode ser reduzida ao que existe; isso é, há que se ter um esforço ativo de recuperar as realidades ausentes de nossas narrativas por força do silenciamento, supressão e marginalização, ou seja, as realidades ativamente produzidas como não-existentes (SANTOS, 2002). Pela natureza da tese, que lida com as ciências e suas interfaces com a História e a Educação, conferimos aqui um olhar mais aprofundado à ecologia dos saberes, cujo viés é mais epistemológico, sem deixar de ser sociológico e político (visto que essas categorias dificilmente andam separadas). Entendemos que, se por um lado, as diferentes ecologias propostas por Boaventura ampliam a abrangência da luta política por reconhecimento das realidades silenciadas e destacam suas diferentes dimensões, por outro lado, é possível afirmar que algumas das características presentes na ecologia das temporalidades, na dos reconhecimentos e nas demais possuem uma continuidade com a ecologia dos saberes, mais afeita à dimensão epistemológica.

Segundo Santos e Meneses (2010: p. 9) “não há conhecimento sem práticas e atores sociais”, e portanto, enfrentar o problema do colonialismo do saber a partir da ecologia dos saberes pressupõe o estudo das práticas e dos atores sociais envolvidos nos conhecimentos ditos científicos. Isso nos levaria, por extensão, à ecologia dos reconhecimentos, visto que, trazendo outros conhecimentos historicamente silenciados, viriam com eles os atores e suas práticas, indissociáveis daquele conhecimento estudado. Em outro exemplo, se admitimos as percepções trazidas por Santos (1987/2008) em “Um Discurso sobre as Ciências”, a respeito de como as concepções de espaço, tempo e simultaneidade de Newton são reformuladas no século XX, podemos entender que o tempo é uma construção cultural feita para servir a determinada cosmovisão. Deste ponto de partida, podemos estender para as consequências culturais mais amplas dessa adoção e perceber que apontar e possivelmente romper com esse constructo aproxima-se da ideia de ecologia das temporalidades, na medida que com isso passa-se a admitir outras formas de entender o tempo. Claro que a ecologia das temporalidades não é simplesmente uma proposta de romper com o tempo linear produzido pela ciência moderna europeia, mas tem o objetivo de recuperar experiências que foram subalternizadas por terem sido atribuídas

a um tempo passado. Raciocínios análogos podem ser produzidos para pensar a ecologia das *trans-escalas* e de *produtividade*, entendendo que ambos se assentam na afirmação do saber da ciência moderna como representação do todo, ou seja, assentam-se na razão metonímica. Porém, o que pretendemos argumentar aqui é a centralidade da ecologia dos saberes quando se trata de pensar a produção de conhecimento científico através dos tempos.

Para isso, imergimos em outro texto de Boaventura em que o autor aprofunda o conceito de Ecologia dos Saberes. Antes disso, argumenta sobre as diferentes visões de diversidade epistemológica no mundo que podem ser identificadas na literatura e que "alimentam a perspectiva epistemológica [da] ecologia dos saberes" (SANTOS, 2008: 142). A primeira, é a pluralidade interna da ciência (PIC) e a outra, a pluralidade externa da ciência (PEC). Por PIC, Santos (2008) designa as perspectivas críticas oriundas dos estudos feministas, pós-coloniais, estudos culturais e sociais da ciência que têm tomado lugar para análise do conhecimento científico moderno, tornando explícitas as relações com o contexto social e cultural em que ocorrem e demolindo pretensões universalidades e unificadoras para as práticas científicas. Como exemplo dessas perspectivas, Boaventura cita autores como Peter Galison, Karin Knorr-Cetina, Bruno Latour, Donna Haraway, entre outros. Em resumo, esse campo de produção sobre a PIC é bem descrito na seguinte passagem:

> Ao longo de mais de três décadas, os estudos sociais da ciência produziram um conjunto vasto de estudos empíricos e de reflexões teóricas e epistemológicas sobre as características situadas do trabalho de produção do conhecimento científico moderno. Os princípios de legitimação das várias práticas constituídas como ciências tornaram-se, assim, plurais e levaram não só a que diferentes ciências invocassem diferentes modelos de cientificidade, mas também que fossem atravessadas por tensões entre esses modelos de cientificidade. A inescapável relação da atividade científicas com as condições situação de sua produção não implica, contudo, a defesa de posições relativistas. Conhecer as circunstâncias e condições particulares em que se produz o conhecimento é fundamental para poder aferir a diferença que esse conhecimento faz. (SANTOS, 2008: 147)

Boaventura (2008), no entanto, afirma que em seu entender, salvo as perspectivas pós-coloniais, os trabalhos alinhados à PIC "não vão suficientemente longe no reconhecimento da diversidade e da pluralidade" (SANTOS, 2008: 151), pois confinam-se à ciência e utilizam a perspectiva da ciência moderna para se referir a outros sistemas de conhecimento, não pondo em questão **os termos** dos conflitos pela diversidade e pluralidade. Para questionar os termos, é necessário recorrer a outros

saberes, alternativos à ciência moderna. É, então, que o autor apresenta a PEC. Boaventura afirma que a economia capitalista no atual estágio centra na produção persistente de uma diferença epistemológica, em que não se reconhecem outros saberes em igual patamar. Ou seja, a diferença epistemológica traduz-se em hierarquia, na medida que exclui e marginaliza. Tal hierarquia atua em diversos âmbitos: capitalista, colonialista e sexista; por isso, o autor sustenta que a luta deve ser, simultaneamente, anti-capitalista, anti-colonialista e anti-sexista. Ou seja, reafirmam-se as dicotomias da razão metonímica como produtoras dessa exclusão. Essas dicotomias atuam no sentido de afirmar os conhecimentos não científicos por considera-los locais, tradicionais, alternativos ou periféricos, refletindo experiências exóticas. Dicotomias como "moderno/tradicional", "global/local", "avançado/atrasado", revelam as dimensões da dominação. No entanto, os próprios estudos da PIC fizeram um trabalho interno de mostrar que todo conhecimento é parcial e situado temporalmente e geograficamente, o que leva Boaventura a afirmar que seria mais justo comparar todos os conhecimentos (incluindo o científico) em função de suas capacidades para a realização de determinadas tarefas.

Nesse contexto, o autor propõe a ecologia de saberes. Em suas palavras:

> A ecologia de saberes é um conjunto de epistemologias que partem da possibilidade da diversidade e da globalização contra-hegemônicas e pretendem contribuir para as credibilizar e fortalecer. Assentam em dois pressupostos: 1) não há epistemologias neutras e as que clamam sê-lo são as menos neutras; 2) a reflexão epistemológica deve incidir não nos conhecimentos em abstrato, mas na práticas de conhecimento e seus impactos noutras práticas sociais. Quando falo de ecologia de saberes, entendo-a como ecologia de práticas de saberes. (SANTOS, 2008: 154)

Ao afirmar que não há epistemologias neutras, Boaventura lembra que a ciência moderna inicialmente era um tipo de conhecimento entre outros, que, com a expansão do capitalismo através do processo de colonização, se expandiu para outras áreas do mundo. Assumiu, nesse processo, uma preponderância total, através da descredibilização de todas as epistemologias alternativas, o que significou, em um dado momento, a descredibilização de todos os conhecimentos que não seguiam os ditames da ciência moderna. Esse processo é chamado de epistemicídio (SANTOS, 2008). No entanto, Boaventura não compartilha nem da visão exclusivamente pessimista da ciência moderna, nem da concepção utópica de que a ciência moderna será capaz, sozinha, de prover as soluções para o mundo atual. Isto porque, como ele afirma, muitas das catástrofes atuais são decorrentes das práticas científicas; entretanto, por conta de

sua hegemonia, essas catástrofes são socialmente aceitas como “custos sociais inevitáveis” enquanto aguarda-se sua superação a partir de novas práticas científicas. Entretanto, Boaventura defende que há a necessidade de que a ciência moderna não seja recusada, mas “reconfigurada numa constelação mais ampla de saberes onde coexista com práticas de saberes não científicos que sobreviveram ao epistemicídio [...] tenham ou não por referência um horizonte não-capitalista” (SANTOS, 2008: 156). Ele acredita no uso contra-hegemônico do conhecimento científico e valorização de outros saberes alheios à cosmovisão da ciência moderna.

Estas observações implicam em redefinir o que se entende por ignorância. Boaventura afirma que nas sociedades capitalistas modernas, apenas a ignorância do conhecimento científico, que detém o privilégio epistemológico, é realmente desqualificadora. Com isso, lembra que aprender algo em uma ecologia de saberes, onde estes saberes se articulam de maneira sistêmica, dinâmica e horizontal, às vezes significa desaprender algo de outro sistema de conhecimentos. Não existiria saber absoluto e ignorância absoluta, mas sempre saber algo e ignorar outro algo. E, além disso, assenta-se no princípio de que a ignorância nunca é superada totalmente pelos saberes, o que nos leva, então a buscar a maior pluralidade possível de ignorâncias para minimizar o impacto negativo das ignorâncias na sociedade.

Embora à primeira vista tais proposições pareçam lidar com um sistema onde não há “universais”, isto é, princípios gerais para a Ecologia dos Saberes, Boaventura propõe uma proposição geral para a fase de transição: trata-se de uma epistemologia geral sobre a impossibilidade de uma epistemologia geral, isso é, uma epistemologia geral residual ou negativa (SANTOS, 2010a). Além disso, em suas teses sobre a ecologia dos saberes, Boaventura propõe que estas se pautem pelo princípio da precaução, pautado em uma ideia de pluralidade e participação, que é assim enunciado: “em igualdade de circunstâncias deve preferir-se a forma de conhecimento que garanta a maior participação dos grupos sociais envolvidos na concepção, execução, controle e fruição da intervenção” (SANTOS, 2008: 160).

Outro conceito fundamental de Boaventura, já brevemente abordado, é que os conhecimentos não podem ser concebidos fora das práticas, isto é, apartadas das intervenções no real que elas permitem ou impedem. Como consequência, há que se avaliar os saberes em estreita interrelação com os efeitos desses saberes no real. Com isso, a análise dos fatos deve se dar com sobriedade, advinda da multiplicidade de perspectivas cognitivas sobre o mesmo real. Portanto, a ecologia dos saberes constitui-

se de perguntas constantes e respostas incompletas, um conhecimento prudente que avança tendo como farol a luta contra as opressões.

1.3 Em busca de sentidos para o ensino de ciências: um diálogo com a literatura da educação em ciências

Uma característica marcante do pensamento de Boaventura é que este conecta duas dimensões do conhecimento que, de uma forma geral, têm estado apartadas nas proposições e ideias emergentes na área de educação em ciências, quais sejam: a dimensão epistemológica e a dimensão política. As representações sobre o conhecimento científico presentes na literatura de Educação em Ciências têm buscado refinamento no sentido de determinar de forma cada vez mais acurada o que, de fato, seria a ciência (HODSON; WONG, 2017). O problema é que essa tendência, que reduz o debate à busca de concepções mais corretas ou menos corretas sobre a Natureza da Ciência, deixa de fora a complexidade que esse debate pode assumir, dados os contextos em que cada uma dessas representações de ciência surge, seus objetivos, suas contingências e demais características (ALSOP; GARDNER, 2017).

Além disso, ao insistir em procurar representações “mais corretas” do empreendimento científico, arrisca-se a uma jornada que pode ser frustrante, tendo em vista que a própria filosofia não possui respostas definitivas para essa questão (OSBORNE et al, 2003) e especialmente porque tomando esse caminho, talvez estejamos nos afastando do propósito inicial de aproximar o Ensino de Ciências dos estudos de História, Filosofia e Sociologia da Ciência, que era justamente tornar o entendimento da ciência mais humanizado, percebendo a não-neutralidade da ciência e os diversos interesses (políticos) presentes nos rumos do desenvolvimento científico. Cabe lembrar que foram os horrores da Segunda Guerra Mundial que impulsionaram os *Science Studies* e foi o mesmo desejo de recuperar o olhar crítico para a ciência que deu origem à intersecção entre esses estudos e a educação em ciências, hoje razoavelmente difundidos (RUDOLPH, 2015). Ou seja, a “não-neutralidade” da ciência é algo muito mais profundo do que uma discussão meramente epistemológica; trata-se de algo com implicação direta na vida das diversas populações. Não faz sentido, portanto, retornar agora a uma gaiola estritamente logicista, ou nos perdermos em discussões sobre listas de afirmações ou questões sobre a ciência. Isso não significa, por óbvio, um “tudo vale” a respeito das representações da ciência – e aqui evocamos

a proposta de Boaventura (2002) de romper com o pensamento dicotomizado que classifica no extremo oposto tudo o que não coaduna com o pensamento hegemônico – mas sim a recuperação de um olhar politizado (no sentido atribuído no início do capítulo) para a Educação em Ciências que inclui o ensino **sobre** as ciências. Por isso, munidos do pensamento de Boaventura (1987/2008, 2002, 2008, 2010a, 2010b), traremos nessa seção algumas reflexões sobre a educação em ciências.

Estudos recentes (MARTINS, 2015; MARTINS; RYDER, 2014) estabelecem uma tríade de questões importantes para a pesquisa e ensino de ciências, que seriam: “o quê”, “como” e “por quê” ensinar sobre as ciências, considerando a necessidade de reflexão sobre as questões meta-científicas no ensino das ciências. Nessa tríade, o “como” se refere às questões metodológicas do ensino, da didática e da prática; “o quê” diz respeito à seleção de temas, questões e conteúdos que deveriam figurar nos currículos e o “por quê” se relaciona com as razões de se estudar ciências em níveis básicos de formação geral. Os estudos de Martins (2015) e Martins e Ryder (2014), sem construir uma escala de valores entre as três questões destacadas, concentram-se na investigação sobre “o que” ensinar sobre as ciências. Dessa forma, debruçam sobre discussões a respeito de critérios para a seleção de conteúdos que devem figurar nos currículos, se o objetivo é o estudo de questões meta-científicas. Acreditamos, assim como os autores, que as três questões são indissociáveis, isso é, que investigar uma delas traz implicações às outras duas. No entanto, a fim de contornar o problema de forma mais precisa, também como os autores, nos concentraremos em uma das questões.

Centraremos aqui no “por que” ensinar sobre ciências na educação básica, por motivos que esperamos esclarecer à frente. Esta pergunta tem como resposta um certo consenso da área de Educação em Ciências, direcionado para a formação cidadã, ou seja, para a preparação dos jovens para lidar com questões sociais relacionadas à ciência (RUDOLPH; HORIBE, 2016; VESTERINEN; TOLPPANEN; AKSELA, 2016). Porém, como apontado por Rudolph e Horibe (2016), há falta de clareza e consenso sobre o que significa a formação cidadã para lidar com questões científicas, ou, como apontamos anteriormente, há diversas tensões e ambiguidades presentes nos discursos que defendem a educação em ciências para a cidadania. Alsop e Gardner (2017) apontam ainda que a necessidade de alfabetização científica parece ser o ponto pacífico, o “cálice dourado” das pesquisas em Educação em Ciências, o que esconde certas tensões de significados a respeito desse termo. Usando uma analogia com o

pensamento de Boaventura (2016), entendemos que esse problema é um dos problemas na área que constitui-se de uma pergunta forte, isso é, que pressiona os limites das tradições de pesquisa que construímos até agora, mas que possui respostas fracas, que muitas vezes não põem em questão os fundamentos básicos dessas tradições, escondendo-se muitas vezes atrás de siglas e jargões que identificam e estabilizam discursos, como apontado por Bazzul (2014). Isso tudo nos desafia a pensar as fundações sobre as quais criamos nossos horizontes de possibilidades na Educação em Ciência.

Santos (2008) propõe reconfigurar as ciências em um espectro mais amplo em que ela represente um conhecimento entre outros conhecimentos; isso implica reconhecer que outros saberes (os que sobreviveram ao epistemicídio) têm valor, importância e a possibilidade de apresentar respostas para problemas contemporâneos. Ampliar o tempo presente, para retirar esses conhecimentos de uma classificação que os relega ao passado e ao atraso. Essa discussão, que remete ao multiculturalismo e ao debate entre conhecimento ecológico tradicional (TEK) e ciência moderna ocidental (WMS)[24], amplamente informada pela literatura pós-colonial, não é nova na área de educação em ciências. van Eijck e Roth (2007), por exemplo, retomando estudos prévios (ver Kim, Asghar e Jordan (2017) para resumo das discussões), defendem a superação dessa dicotomia através da adoção de uma epistemologia contemporânea que vincule os aspectos tanto culturais quanto materiais da realidade, que se interesse pela utilidade do conhecimento e que perceba o conhecimento como dinâmico, plural e heterogêneo. Há diversos pontos de contato e outros de divergência entre a proposta sociológica de Boaventura e as ideias de van Eijck e Roth, que buscaremos apontar aqui. A primeira convergência diz respeito a substituir o conceito de verdade como critério de hierarquização de conhecimentos pelo conceito de utilidade, ideia que ambos apontam como sendo inspirada pelo pragmatismo filosófico. Note-se que isso não significa, necessariamente, abandonar o conceito de verdade internamente às ciências como um parâmetro para o empreendimento científico; este é um outro debate (ver BAKER; ORESKES, 2017). Aqui nos referimos à utilização do conceito da aproximação à verdade como determinante para a escolha entre epistemologias diversas. Como van Eijck e Roth (2007) explicam, a busca da verdade está na relação entre os conceitos e a realidade material e carrega uma contradição em si. Para ser uma verdade científica, algo deve ser verdade em todos os contextos, porém, como analisado por Latour, para

[24] Mais à frente, complicaremos um pouco essa distinção presente na literatura.

que o conhecimento científico seja produzido, os contextos locais precisam ser reduzidos à práxis científica; além disso, para que esse conhecimento possa ser aplicado em outro contexto local, o mesmo processo deve ocorrer com o contexto-alvo (VAN EIJCK; ROTH, 2007). Por esse motivo, os autores evocam o conceito de utilidade ao contexto local como parâmetro para decidir entre TEK e WMS.

Os exemplos utilizados por van Eijck e Roth (2007) esclarecem razoavelmente a ideia de utilidade empregada pelos autores e a sua ligação à caracterização do conhecimento como local. Os autores, porém, não problematizam a esfera de decisão quando dois conhecimentos que lidariam com a mesma questão são postos em oposição para escolher por um deles. Não abordam, por exemplo, os contextos em que seria desejado pelos próprios povos locais a "importação" de contextos de prática da WMS para o contexto local, criando uma utilidade local para esse conhecimento "importado", a partir da recriação dos contextos de produção do conhecimento original. Nesse sentido, a estratégia de Santos (2008), de adotar o princípio da precaução, neste caso nos parece mais atraente e mais frutífera num sentido propositivo de superação das dicotomias: a forma de conhecimento que permita a participação de grupos sociais envolvidos na concepção, intervenção e fruição do real, seria a preferida. E tal juízo seria alcançado não por hierarquias a priori entre saberes, mas por deliberações democráticas que levem em consideração ganhos e perdas associados a cada possibilidade de escolha. Tal estratégia evita que, pela assimetria prévia de poderes existente entre os discursos, um saber externo ao saber local possa ser entendido como mais útil que o próprio conhecimento local. Eventualmente, o conhecimento científico externo à comunidade local poderá ser considerado mais útil que o próprio conhecimento local, mas isso precisará passar pela avaliação e deliberação democrática deste grupo, avaliados ganhos e perdas. Nesse processo, há ainda a vantagem de favorecer o movimento contrário, isto é, avaliar a possibilidade de adoção dos chamados TEK em grupos sociais onde a tradição é ligada à WMS.

Santos (2002) defende que tal "conversação" entre conhecimentos é possibilitada pelo trabalho de tradução, que visa criar "inteligibilidade, coerência e articulação" entre formas de conhecimento diversas. Nesse sentido, o autor diverge de van Eijck e Roth (2007), que consideram que os conhecimentos, como úteis localmente, seriam incomensuráveis. Nos parece que as diferenças de abordagem entre ambos os autores dizem respeito, em parte, aos diferentes problemas que estão abordando, o primeiro lidando com uma questão mais geral, de ordem epistemológica e política, e os

segundos circunscritos ao problema do multiculturalismo na Educação em Ciências. Sendo assim, as ideias de van Eijck e Roth (2007) são complementadas por Santos (2002) nesse ponto.

Consideramos essa discussão fundamental não apenas para o problema do multiculturalismo e da diversidade na Educação em Ciências, mas como central para a área de uma forma mais ampla. Isso porque, retomando a discussão anterior, as ciências estão imersas na política. O processo de colonização e expansão do capitalismo moderno é levado a cabo com o apoio da ciência moderna, que se beneficiou desse processo, tornando-se hegemônica, muitas vezes por meio da força e epistemicídio (SANTOS, 2010a). A ciência moderna é entendida como um dos braços do desenvolvimento e do progresso apregoado pelo capitalismo (SANTOS; MENESES, 2010) e mesmo pelas propostas de sociedade que se opõem ao capitalismo, porém sob a égide do "avanço científico" ou a crença da acumulação e progresso infinitos (GUDYNAS, 2011). Portanto, devemos nos acostumar com a ideia de que possivelmente a mesma ciência que criou, em par com o capitalismo, muitos dos problemas ambientais e sociais que agora assistimos, pode não ser capaz de solucionar esses mesmos problemas. Essa afirmação da relação entre o capitalismo e a ciência moderna encontra-se consolidada na literatura pós-colonial (SANTOS; MENESES, 2010). Para além dessa literatura, trata-se de um indicativo importante que a própria ciência moderna esteja chegando à conclusão de que o processo de colonização é um marcador importante no que se chama hoje de Antropoceno (LEWIS; MASLIN, 2016). Essa não seria a primeira vez que a ciência conclui algo que estudos advindos de racionalidades alternativas (ou contra-hegemônicas) já haviam concluído previamente. Santos (2008) relata o caso das rizoculturas nos anos 1960, em Bali, na Indonésia, onde um sistema de conhecimento preexistente foi substituído por outro porque aquele conhecimento não era considerado científico. Anos mais tarde foi observado que o sistema utilizado na rizocultura antes da substituição era muito mais eficiente do que o que o substituiu, baseado na cultura científica da época. Campos de estudos inteiros, como a etnobotânica e etnofarmacologia, estão plenos de exemplos de tradições indígenas que muito depois vêm sendo absorvidas na medicina e farmacologia da modernidade ocidental (ELIZABETSKY; SHANLEY, 1994).

Tendo isso em mente, há duas proposições muito importantes que, de certa maneira, resumem a discussão sobre conhecimento aqui proposta: a primeira, é que com esses argumentos, não pretendemos simplesmente demolir o status

epistemológico e político da ciência. Não é simplesmente um trabalho de desconstrução de seu valor, o que poderia inclusive alimentar a crise que vivemos, a utilização de pós-verdades, entre outros. Trata-se de tentar chamar a atenção para a construção de uma atitude que reside em avaliar as afirmações científicas a partir de uma racionalidade mais ampla do que a que as subjaz (SANTOS, 2010b). Isso é, considerar a ciência como um dos pontos de partida das discussões sobre os problemas do mundo, e não um ponto de chegada onde encontraremos todas as respostas. A segunda proposta é que esse pensar sobre o mundo só é possível se assumimos o ensinar ciências como ensinar **sobre** ciências em primeiro lugar. A defesa do ensino **sobre** as ciências em geral é formulada como se ensinar ciências fosse primariamente ensinar os produtos da ciência, isso é, os conceitos e técnicas científicas, “mas também”, **sobre** a ciência. Defendemos que, dado o contexto de crise que vivemos, talvez tenha chegado a hora de inverter essa precedência, colocando o ensino **sobre** as ciências como o guia para o ensino de ciências, sem negligenciar o ensino dos conteúdos e técnicas científicas que sustentam o que sabemos até hoje. Concordamos, portanto, com Rudolph e Horibe (2016), que defendem que os objetivos da educação científica devem estar além do conhecimento conceitual e mesmo epistemológico, indo em direção a um conhecimento social e político. Com isso, seria possível aos estudantes problematizar a posição do conhecimento historicamente reconhecido como científicos na sociedade (e, por extensão, também os não reconhecidos como tal), considerando-os não como algo estático que nos imponha a necessidade de aceitá-lo como verdade ou negá-lo totalmente, mas sim com a perspectiva de análise crítica que leve em consideração suas finalidades, consequências e intervenções no real que possibilita. Isso só é possível se adotarmos a ideia de um conhecimento científico que está inscrito em uma racionalidade mais ampla e em modelos sociais que não se resumem ao pensamento científico, mas que beneficiam dele (SANTOS, 2002; 2008).

Conforme argumentado em publicação anterior (MOURA; GUERRA, 2016a), a ideia defendida acima possui alguns pontos de conflito com algumas propostas recentes como o ensino implícito sobre as ciências (ABD-EL-KHALICK, 2013), abordagens de ciência autêntica (CRAWFORD, 2014), pois tais abordagens não garantem, por si só, a percepção epistemológica e entendimento das ciências enquanto construtos sócio-histórico-culturais. Defendemos, dessa forma, a importância de um olhar explícito e externo às práticas científicas, capaz de proporcionar a análise do funcionamento da ciência e do efeito de seus produtos na sociedade, além da dependência dos produtos criados em relação às demandas da sociedade. Nesse sentido, é fundamental a

exploração do contexto histórico de produção das ciências, bem como suas relações com as demais produções culturais que compartilham desse contexto, de forma a trazer, através da história, reflexões sobre as práticas científicas. Conforme Pinhão e Martins (2016), nem sempre a tomada de decisão possível a um indivíduo na realidade concreta é a ideal. Tomando um exemplo das autoras, mesmo sabendo dos danos que as monoculturas causam ao meio ambiente e à agricultura familiar, nem sempre é possível optar por um produto livres de agrotóxicos produzidos por redes sustentáveis, por razões das mais diversas (econômicas, acessibilidade) (PINHÃO; MARTINS, 2016). Insistir em uma educação em ciências para a tomada de decisões pode reforçar, portanto, o imaginário neoliberal e minimizar a formação política necessária para recuperar a possibilidade de agência dos sujeitos frente às contingências estruturais. Por isso, apostamos na abordagem histórica das ciências como uma possibilidade de atingir os objetivos aqui defendidos, conforme argumentaremos na próxima seção.

1.4 Um papel para a História na Educação em Ciências

Retomando as ideias de Pinhão e Martins (2016), dentre os aspectos apontados no final do artigo como possíveis soluções para o impasse da educação em ciências para a cidadania, destacamos o papel da história nessas soluções. É dito pelas autoras que há situações em que “deixamos de lado os vários dados da nossa história que demonstram a força do povo na luta política” (p. 27) e que para rever a utopia do binômio cidadania-educação, deveríamos “refletir sobre a história a partir de uma perspectiva não evolucionista” (p. 27). Parece-nos claro o papel central da história no entendimento das contingências estruturais que condicionam a agência dos sujeitos em uma sociedade.

Esse papel não é casual. Se tomamos os estudos de Galison (1999) como ponto de partida, a origem das questões que se colocam no tempo e espaço em que estamos imersos é histórica. Essas questões estão vinculadas à cultura em que vivemos, entendendo aqui cultura como uma teia na qual os homens e mulheres estão ligados, que na mesma proporção determina as ações desses homens e mulheres e por eles é determinada (Geertz, 1989). Portanto, se hoje nos ocupamos de uma pergunta como “como baratear os custos com a dessalinização da água do mar?” é porque devido à forma como construímos nossa história e como a sociedade se organizou estamos próximos de esgotar as fontes de água potável. Em outra forma civilizatória, com outro

percurso histórico, talvez essa pergunta jamais existisse, já que as condições para sua existência poderiam não existir. Ou ainda, retomando exemplo de Santos (2008), indagações sobre formas mais eficientes de ir à Lua podem não possuir propósito ou nem fazer sentido em outras cosmovisões.

Nosso pressuposto é que a proposição de questões e as respostas construídas para essas questões estão ligadas a uma rede dinâmica na qual aspectos históricos se inserem. Como Galison (1999), entendemos que existem condições históricas de possibilidades que descrevem como comportamentos e conceitos dependem uns dos outros. Essas condições são específicas de cada momento e cada local, e isso torna fundamental o estudo histórico para discutir quais são as contingências históricas que estão presentes em cada tempo-espaço. Por compartilharmos com autores como Milne (2011) e Reis, Guerra e Braga (2006) que as ciências são integrantes da cultura, entendemos que as ciências fazem parte da dinâmica cultural que constrói as perguntas e respostas com que nos defrontamos em nosso mundo. Sendo assim, o estudo sobre a ciência deve pautar-se em seu caráter dinâmico, ultrapassando as chamadas abordagens metodológicas da ciência (McGUIRE; TUCHANSKA, 2013), que tinham por prática descontextualizar a ciência e criar estruturas teóricas por meio das quais o desenvolvimento científico de qualquer tempo poderia ser entendido. Defendemos que o foco dos estudos sobre a ciência na educação básica esteja centrado nas mudanças pelas quais esse conhecimento passou, evidenciando, assim, que há espaço para alterações na construção do modo de se construir a ciência e a sociedade, de forma mais ampla.

Além disso, há razoável consenso na literatura mais recente tanto da história e filosofia da ciência (GALISON, 2010; KLEIN, 2003) quanto da própria educação em ciências (IRZIK; NOLA, 2011) de que dificilmente podemos afirmar uma unicidade para as formas de se fazer ciência. As teorias e práticas da botânica são muito diferentes da forma de fazer ciência da astronomia. Tais como são diferentes o trabalho e as formar de agir e pensar de um químico teórico em relação a um químico experimental. São tão diversas as culturas científicas, quanto diversas são as experiências consideradas como alternativas às ciências, conforme discussão anterior. Sendo assim, uma abordagem histórica das ciências na educação em ciências tem a intenção de analisar essa diversidade desde um ponto de vista histórico, mostrando o quanto por exemplo a botânica mudou ao longo de sua história e o quanto provavelmente ainda mudará. Colocando em questão, por exemplo, que se a química até aqui foi responsável pela

produção e utilização extensiva de agrotóxicos, há espaço para mudança nessa cultura tecnocientífica no futuro. Se as ciências espelham relações desiguais presentes na sociedade, como a desigualdade de gênero (BARBOSA, 2003), baixa representatividade das diversas etnias (WALLS, 2012), e isso é um empecilho para a identificação cultural dos estudantes com a ciência que lhes é ensinada (GURGEL, PIETROCOLA, WATANABE, 2013), há possibilidade de mudança também nessas esferas. Em resumo, conforme argumentado em publicação anterior (MOURA; GUERRA, 2016a), a abordagem histórica das ciências em uma perspectiva cultural na educação em ciências pode ser uma importante aliada na percepção crítica do conhecimento científico.

Ainda sobre a pluralidade das ciências, entendemos ser importante discutir a divisão entre pluralidade interna e externa da ciência proposta por Santos (2008). Entendemos que se existem estudos que mostram como a própria ciência moderna ocidental se utilizou de conhecimentos dos povos colonizados (PIMENTEL, 2007), e que tal informação sobre apropriação muitas vezes foi apagada dos registros oficiais (artigos científicos, p. ex.), talvez a divisão entre pluralidade interna e externa seja mais tênue do que o que foi apontado por Santos (2008). Isto é, o âmago da ciência moderna está carregado de conhecimentos que só foram possíveis por conta de processos de violência e apropriação em relação aos conhecimentos considerados locais. Pode-se questionar: o que seria da botânica e zoologia sem as diversas espécies que foram catalogadas, descritas e eventualmente transportadas das colônias até as metrópoles durante o processo de colonização (BLEICHMAR, 2011)? O que seria da zoologia e botânica sem os saberes dos colonos sobre plantas e animais de seu mundo? Ou mesmo de ciências sociais como a antropologia, cujos primeiros estudos foram em par com os mesmos processos e procedimentos característicos do colonialismo (CARVALHO, 2001)?

Além disso, há que se observar que a simples inclusão de conteúdos referentes às Epistemologias do Sul, sem o cuidado de historicizar também estes conhecimentos e mostrar que eles não são estáticos no tempo, pode contribuir para a reificação de conteúdos, sejam os derivados das Epistemologias do Sul ou não, o que joga contra a intenção de formação crítica dos estudantes. Em outras palavras, historicizar os conhecimentos e experiências, sejam eles os conhecimentos científicos já tradicionais no currículo escolar ou os conhecimentos oriundos das Epistemologias do Sul, é condição *sine qua non* para alcançar a ampliação do tempo presente (SANTOS, 2002)

e evitar a atribuição dessas experiências ao passado ou ao atraso civilizatório. Como um exemplo disso, temos a concepção de *Buen Vivir*, presente em formas ligeiramente diferentes na constituição da Bolívia e do Equador como guia para o alcance da justiça social. Conforme Gudynas (2011), este conceito não deve ser entendido como um conceito estático que remonta ao passado andino, pré-colonial, mas sim um conceito que continua sendo criado constantemente. A versão boliviana do conceito, *suma qamaña*, não possui qualquer evidência de ter sido utilizada no cotidiano das comunidades rurais *aymara*, mas são uma criação recente do sociólogo *aymara* Simón Yampara (*idem*). Isso endossa nosso argumento sobre a necessidade de entender as Epistemologias do Sul também de forma historicizada.

Portanto, propomos aqui um entendimento contínuo entre a pluralidade interna e externa das ciências, em vez da dicotomia entre ambos. Tanto pelo fato de não poder determinar totalmente o quanto de Sul há no Norte e vice-versa, quanto pela ideia de que não basta "aprender que existe o Sul", como conhecimento estático, mas também "aprender a partir do Sul e com o Sul"[25]. Entender a pluralidade externa e abrir a possibilidade de aprender com o Sul só é possível se entendemos que o Norte não é absoluto e não é a forma de conhecimento única ou padrão. Para isso, é fundamental que sejamos capazes de entender a dinâmica da construção do conhecimento das disciplinas e temas tradicionalmente abordados na ciência escolar, que em geral excluem as Epistemologias do Sul. Defendemos que essa necessidade faz parte da luta pela decolonização do currículo escolar. O próprio Boaventura reconhece isso ao afirmar que a Sociologias das Ausências se baseia em duas indagações, sendo uma delas entender por que a Ciência Moderna Ocidental se tornou hegemônica (SANTOS, 2002).

Destacamos aqui que existem trabalhos na literatura da História das Ciências que se dedicam a entender os caminhos que levaram a ciência moderna a tornar-se hegemônica (RAGEP, 2007). E entendemos que mesmo no caso das disciplinas científicas hegemônicas, podemos aplicar a lógica das ecologias advogadas por Boaventura. Por exemplo, Daston e Galison (2007) descrevem o percurso histórico do conceito de objetividade, em suas várias fases, desfazendo a univocidade do termo e mostrando que este valor, tão identificado hoje com as ciências da natureza, possuiu

[25] Citação original: "Uma epistemologia do Sul assenta em três orientações:
aprender que existe o Sul;
aprender a ir para o Sul;
aprender a partir do Sul e com o Sul" (SANTOS apud SANTOS; MENESES, 2010)

diferentes referentes ao longo da história. Este caso ilustra um exemplo em que poderíamos interpretar como aplicação da ecologia das temporalidades, na medida que é descontruída a lógica que aponta a superioridade da objetividade mecânica (muito associada ao positivismo) em relação aos demais modelos de objetividade apresentados pelos autores do trabalho. Um outro exemplo é o trabalho de Klein (2003), em que traça a ascensão das fórmulas químicas como forma de representação no início da química orgânica e como isso altera as práticas dos que trabalhavam na área. Nesse trabalho, são destacadas as contribuições de boticários, por exemplo, para o desenvolvimento da química nesse período, o que poderíamos interpretar como uma aplicação da ecologia dos reconhecimentos, na medida que os boticários são os agentes desqualificados nesse cenário, a quem Klein reinsere na "história contada" sobre o desenvolvimento da química orgânica. Exemplos análogos podem ser identificados em outros momentos históricos, em que instrumentadores, divulgadores da ciência, e outros atores, tiveram seus papéis eclipsados em uma forma de fazer História das Ciências que olhava apenas para as publicações em periódicos e biografias.

Destacamos ainda os estudos que têm se dedicado ao papel das mulheres nas ciências, que historicamente foram subalternizadas ou que tiveram sua atuação ocultada nas "histórias oficiais" (TERRALL, 2007). Em caminho parecido, há estudos que buscam destacar o papel de negros e negras que foi minimizado ou completamente apagado na História das Ciências. Também têm alcançado destaque as discussões que tentam re-localizar o nascimento da ciência moderna, lançando luz sobre os processos de ocultação do conhecimento produzido pelos árabes e demais povos africanos, quando não da aplicação da lógica apropriação/violência também nesse contexto (RAGEP, 2007). Essas mudanças, possibilitadas em grande parte pela abordagem da História Cultural das Ciências, à qual muitos autores mencionados se filiam, tem o potencial para promover a decolonização no currículo escolar de ciências através da historicização do ensino das ciências mesmo em temas e disciplinas que já estão presentes no currículo.

Cabe frisar que o movimento que aqui propomos não se opõe ao movimento mais geral que propõe a reintegração no jogo do saber das epistemologias que sobreviveram ao epistemicídio. Como afirmado anteriormente, defendemos uma continuidade entre o interno e o externo proposto por Boaventura, o que se reflete em uma continuidade (e não uma oposição) entre ambas lutas. Cabe frisar, no entanto, que

conforme teóricos do currículo, as mudanças curriculares possuem diversas etapas (e.g., ver abordagem do ciclo de políticas em Mainardes (2006)) e podem demorar bastante tempo até estarem completamente acomodadas no cotidiano das salas de aula. Em caso de mudanças grandes como seria o caso da inclusão das Epistemologias do Sul, isso ainda envolveria mudanças na formação de professores, adequações de materiais didáticos, além da implementação da política curricular propriamente dita. Além disso, se aceitamos a necessidade de historicizar os próprios saberes componentes das Epistemologias do Sul, há ainda um outro desafio a contornar, qual seja, mapear esse conhecimento. Historiadores da ciência têm apontado o grande desafio metodológico que é reconstruir histórias de povos que foram praticamente dizimados, ou onde a violência epistêmica foi de tal ordem que as tradições desses povos, muitas vezes transmitidas na forma da história oral, já está praticamente extinta (REID, 2011). Ambos são trabalhos de fôlego que já estão a ser feitos, tanto no âmbito educacional quanto no âmbito da historiografia da ciência.

No entanto, entendemos que no dia-a-dia das escolas, algo precisa ser feito. E nesse dia-a-dia, torna-se mais difícil trazer conhecimentos vistos como “estrangeiros” às próprias disciplinas (por muitas vezes nem serem considerado conhecimentos válidos) ou sobre os quais ainda não sabemos o suficiente. Reafirmamos, então, que para reconhecer a existência de outras racionalidades, é importante saber que a racionalidade que está no currículo oficial não é única, nem infalível, que se trata de um conhecimento contingente como outros. Por isso, quando se problematiza internamente a ciência, este é um primeiro passo para entender outras racionalidades, visto que o critério de verdade deixa de ser aquele produzido pela própria ciência moderna europeia e passa a ser algo acima. Trata-se de mover a linha abissal para mais longe da ciência moderna, permitindo que outros conhecimentos sejam passíveis de reconhecimento como possíveis e válidos, passem a estar dentro da linha abissal, para usar uma terminologia de Santos (2010a).

2. A Natureza da Ciência revisitada pelas lentes do currículo

2.1 História das Ciências e Natureza da Ciência

É comum inferirmos a respeito da maturidade de uma área de pesquisa de acordo com o grau de institucionalização de uma comunidade disciplinar, isto é, as revistas científicas nas quais esta comunidade publica, os congressos a que frequenta e as instituições que cria e filia-se. Tomando-se esses parâmetros como norte, podemos dizer que a comunidade de pesquisa dedicada a aproximar as áreas de História das Ciências e Ensino já possui algum grau de consolidação acadêmica.

Como exemplos dessa consolidação, há periódicos com publicações na área, que em âmbito internacional tem como principal representante a revista "Science & Education". Segundo a descrição do próprio periódico, o objetivo da Science & Education é promover publicações de "pesquisas que usam abordagens históricas, filosóficas ou sociológicas para melhorar o ensino, a aprendizagem e o currículo em ciências e matemática"[26]. No âmbito nacional há uma revista especializada no tema: "História das Ciências e Ensino: construindo interfaces", cujo título atesta seu escopo. Além disso, cabe ressaltar que é comum os periódicos da área de educação em ciências possuírem seções inteiras dedicadas ao tema ou ao menos menção ao tema como sendo parte do escopo da revista[27]. Nos últimos anos, podemos apontar ainda a publicação de edições especiais dedicadas ao ensino das ciências em revistas da área de História das Ciências (FORATO; GUERRA; BRAGA, 2014) e ainda a transformação destas experiências esporádicas em seções permanentes, como no caso da Revista Brasileira de História da Ciência, que recentemente (setembro de 2018), instituiu uma seção perene dedicada ao ensino com viés histórico.

No âmbito dos congressos, o mesmo panorama repete-se: existe um congresso internacional de frequência bienal ligado à instituição IHPST (International History, Philosophy and Science Teaching, criada em 1987) e que em 2019 terá sua 15ª edição e a celebração de 30 anos desde a primeira edição. Ainda ligados à mesma instituição, existem os congressos regionais: latino-americano, 4ª edição em 2018; europeu, 1ª edição em 2016; asiático, 2ª edição em 2014. Nos congressos em educação em ciências

[26] Disponível em: <https://link.springer.com/journal/11191>. Consultado em 25/10/2018.
[27] Exemplos de revistas que possuem seções específicas voltadas à História da Ciência e Ensino: Enseñanza de las Ciências (UAB); Caderno Brasileiro de Ensino de Física (UFSC); Science Education (Wiley); entre outras.

multidisciplinares de grande porte (ENPEC, no Brasil, NARST, IOSTE, ESERA, entre outros, internacionalmente), a História das Ciências é reconhecida como linha de pesquisa junto à Filosofia e Sociologia das Ciências há algum tempo.

Conquanto nosso objetivo não seja apontar um marco fundador para a área, Matthews (1995) traça que os indícios iniciais dessa tradição datam de muito antes das décadas de 1980 e 1990. Jenkins (1990) afirma que em meados do século XIX o presidente da associação britânica para o avanço da ciência defendia que, além dos resultados e métodos da ciência, a História das Ciências também deveria ser ensinada. No Brasil, Porto (2010) aponta que a recomendação para a inclusão de uma abordagem histórica da Química no ensino básico já está presente pelo menos desde a reforma de Francisco Campos, em 1931. Neste texto curricular do início do século XX, porém, a visão de História das Ciências advogada remete à necessidade de ensinar as "descobertas mais notáveis", a "evolução dos conceitos" e a revelação dos "grandes vultos" da História. Nada disso é surpreendente se entendermos o contexto histórico no qual este documento é gestado, permeado pelo positivismo e cuja produção de História das Ciências é marcada pela atuação de cientistas aposentados, buscando construir tradições disciplinares em que seus próprios nomes constassem em destaque (VIDEIRA, 2007).

Esse olhar para a História das Ciências e sua relação com ensino vem sendo alterado desde o fim a Segunda Guerra Mundial. Em documentos curriculares do final da década de 1990, como os PCNEM e PCN+ Ensino Médio, é possível observar outras motivações para a abordagem histórica no ensino básico, voltadas à construção de um entendimento epistemológico mais aprofundado sobre as ciências, reconhecendo seu caráter não-neutro e problematizando a visão de que seu caminhar se faz de forma absolutamente objetiva e sem conflitos. No caso do ensino de química, advoga-se a abordagem histórica a partir da perspectiva de que a química é uma construção humana, inserida em processos históricos e sociais (PORTO, 2010). De uma forma geral, conforme Matthews (1995) e Hodson (2014), esta tendência de aproximação da História das Ciências ao ensino desde perspectiva mais epistemológica aprofunda-se no período após a Segunda Guerra Mundial, onde se destacam, na década de 60, os projetos PSSC, BSCS, CHEM Study, entre outros (em alguns destes projetos não necessariamente com a HC, mas com a NdC). Deste então, tem-se como argumento fundamental para a iniciativa de aproximação da História das Ciências ao ensino o de cumprir uma formação epistemológica dos estudantes para que sejam capazes de

entender os processos de construção da ciência e, assim, possam intervir em seu caminhar (RUDOLPH, HORIBE, 2016).

A hibridização do sentido histórico com o sentido epistemológico no ensino de ciências com viés histórico traz consigo a ideia de “Natureza da Ciência”, ainda que no início não necessariamente com esse jargão. Hodson (2014) aponta que as discussões sobre Natureza da Ciência (NdC) na Educação em Ciências ganham destaque entre 1977 e 1992, após um período de declínio. Desde então, seguiu-se um longo debate sobre o que é a NdC, se essa temática deve ser ou não entendida como componente curricular e como deve ser ensinada. Hoje, essa hibridização é tão forte que é quase um consenso na área de pesquisa em HFSC no Ensino de que a as abordagens históricas servem, preponderantemente, à discussão sobre a ciência[28] em sala de aula, embora haja estudos sobre as possibilidades (e impossibilidades) de seu uso para abordagem conceitual (ROCHA; GURGEL, 2015)

Se, no entanto, há consensos, tradições consolidadas e certas direções de pesquisa bastante estruturadas na área, há ainda outras que são, no mínimo, obscuras. No capítulo 1, afirmamos, com base em Bazzul (2014) e Carter (2014) que os jargões e tradições da área de ensino escondem, muitas vezes, visões ideológicas e perspectivas políticas por trás dos seus pressupostos, justamente pela opacidade dos trabalhos que abordam esse tema. Sendo assim, torna-se importante investigar estes pressupostos, nem sempre claros, que estão por trás dos “modelos” existentes de NdC e também como o conhecimento destes pressupostos pode ajudar a “desbloquear” alguns debates na área de Educação em Ciências, bem como iluminar outros que já estão em tela. Sobre isso, nos alinhamos à Alsop e Gardner (2017) ao afirmarem que a análise a respeito da NdC precisa ir além do debate a respeito do quanto uma lista de características se aproxima ou não do empreendimento científico, em um sentido demarcatório. Entendemos, como esses autores, que é necessário entender que tipo de fenômenos educacionais cada modelo teórico sobre NdC para a educação em ciências habilita ou desabilita, permite ou bloqueia.

Buscando esse caminho, apresentaremos agora alguns dos pressupostos teóricos que orientarão nossa análise nesse capítulo. Estes pressupostos são trazidos da teoria de currículo, focalizando principalmente dois debates: o primeiro, sobre o que

[28] Há na literatura um debate sobre se discutir a respeito de Natureza da Ciência seria igual a discutir sobre ciência, tendo em vista que muitos autores separam o que seria o conhecimento científico das práticas de investigação utilizadas pela ciência. Entendemos, como Hodson e Wong (2017), que essas dimensões são inseparáveis e que, portanto, tal separação seria artificial e pouco profícua.

vem a ser currículo, entre entendimentos históricos e debates contemporâneos, caracterizando o movimento curricular dos anos 70 conhecido como reconceptualização e seus desdobramentos para o entendimento sobre currículo. O segundo debate foca a temática da normatividade curricular, isto é, a discussão sobre a função prescritiva-normativa de documentos curriculares. Após isso, passaremos, na seção 2.3, à análise dos pressupostos dos modelos de NdC à luz dos aspectos levantados sobre a teoria curricular na seção 2.2.

2.2 Teorias de Currículo e o Ensino de Ciências: buscando aproximações

O entendimento do que é currículo está em constante disputa na literatura educacional. O campo da teoria curricular é um dos mais profícuos academicamente, sendo representado nacional e internacionalmente por uma miríade de periódicos[29], bem como pela organização de encontros especificamente para discutir o campo do currículo como área de pesquisa. Como área longeva dentro da pesquisa educacional, este campo sofreu muitas metamorfoses, de sorte que o que e como se pesquisa hoje possui diferenças fundamentais em relação ao que se fazia no início dessa disciplina acadêmica.

Lopes e Macedo (2011) apontam que o currículo escolar como conhecemos hoje tem parte de suas origens na América do Norte, baseado em princípios eficientistas de uma sociedade em franca industrialização no primeiro quartil do século XX. Nesse contexto, em 1918, Franklin Bobbitt propõe um currículo cuja função primordial é a preparação de jovens para uma vida economicamente ativa. Nesse modelo de organização curricular, o que se valorizava eram os componentes particulares da atividade de bons profissionais. Tais componentes passam a constituir um programa de treinamento dos jovens para atingirem as pretensas habilidades. Esta perspectiva eficientista se aprofunda na proposta de Ralph Tyler, surgida em 1949. Para Tyler, a organização e desenvolvimento do currículo deve buscar responder as seguintes questões básicas: quais objetivos educacionais que se pretende atingir; quais as experiências educacionais que podem ser oferecidas e que tenham probabilidade de levar ao alcance do que se pretende atingir; como organizar de forma eficiente essas experiências; e, por último, como ter certeza de que esses objetivos foram alcançados,

[29] Alguns Exemplos: Currículo sem Fronteiras, e-Curriculum (PUC-SP), Transnational Curriculum Inquiry (IAACS), Journal of the American Association for the Advancement of Curriculum Studies (AAACS), Journal of Curriculum Theorizing, Curriculum Inquiry, Journal of Curriculum Studies, The Curriculum Journal.

ou seja, como avaliar (SILVA, 2015). Nesse caminho, Tyler entende que a decisão sobre quais objetivos a escola buscaria alcançar deve buscar como fontes os estudos sobre os alunos, os estudos sobre a vida contemporânea fora da educação e a opinião dos especialistas sobre a organização do conhecimento. Há, portanto, convergência com Bobbitt numa das dimensões consideradas importantes por Tyler: a busca por objetivos para educação nos estudos sobre a vida contemporânea. Como tais fontes poderiam gerar um número grande de questões para serem acomodadas no currículo, Tyler propõe dois filtros para decidir que experiências deveriam compor o currículo em caso de conflito: um filtro psicológico, que visa adequar os objetivos às capacidades da criança e um filtro filosófico, que consiste dos valores que a sociedade pretende perpetuar por meio da escolarização (LOPES; MACEDO, 2011).

Tyler conferia a fase de definição dos objetivos uma importância capital no processo de *design* do currículo. Para ele: “se formos estudar um programa educacional sistemática e inteligentemente devemos primeiro ter absoluta segurança quanto aos objetivos educacionais a serem atingidos” (TYLER apud KLIERBARD, 2011). Para Kliebard (2011), a proposta de Tyler possui vários pontos de continuidade com a proposta de Bobbitt, o que é justificável pelo fato de que ambos adotam princípios eficientistas para a definição do currículo. Estes princípios têm consequências desde a definição dos objetivos educativos até as formas de avaliação. Tyler propõe que a avaliação, a última etapa do processo educativo, seja capaz de determinar em que medida os objetivos educacionais foram alcançados pelo programa de ensino. Ou seja, a enunciação de objetivos não serve apenas à seleção e organização das experiências que comporão o currículo, mas também como uma matriz de referência, um padrão, a respeito do qual as expectativas iniciais são avaliadas (KLIEBARD, 2011).

Ainda na primeira metade do século XX surgem outras perspectivas como a de John Dewey, dentro do que classificamos como progressivismo. Tais perspectivas buscam “um meio de diminuir as desigualdades sociais geradas pela sociedade urbana industrial e [que] tem por objetivo a construção de uma sociedade harmônica e democrática” (LOPES; MACEDO, 2011). No entanto, é a chamada *racionalidade tyleriana*, com sua perspectiva linear e prescritiva de instrução que praticamente domina o campo do currículo até o início da década de 70. Isso ocorre porque essa racionalidade torna-se um poderoso instrumento capaz de orientar e definir práticas curriculares de uma maneira simples, estruturada e organizada. A tarefa da teoria curricular para Ralph Tyler era elaborar uma perspectiva capaz de relacionar todos os fatores envolvidos no

desenvolvimento de um programa educacional, isto é, objetivos, conteúdos, métodos, organização e avaliação. Esta seria uma teoria do processo de desenvolvimento curricular, apolítica, administrativa e calcada numa base técnica (PACHECO, 2000).

A racionalidade tyleriana seguiu praticamente incontestada por mais de uma década, até o surgimento do movimento de reconceptualização curricular. Pacheco (2000) afirma que esse movimento não possui um eixo único de atuação, isso é, não é um movimento homogêneo, mas se caracteriza fundamentalmente por ir contra a perspectiva técnica, considerada como uma perspectiva que nega as vozes dos professores e alunos no processo de construção curricular. O movimento de reconceptualização abarca, assim, uma compreensão crítica do campo, entendendo "crítica" aqui num sentido de oposição ao que estava posto. Esse movimento surge com a percepção de que a noção de currículo que vinha sendo construída sob a égide da racionalidade tyleriana, muito técnica e administrativa, não se encaixava com as nascentes teorias sociais europeias muito discutidas à época, como a teoria crítica da Escola de Frankfurt, a fenomenologia, entre outras (SILVA, 2015). Inicialmente, esse movimento de reconceptualização pretendia abarcar tanto as críticas de viés fenomenológico, quanto as de viés mais marxista e estrutural. Porém estas últimas rejeitaram o rótulo reconceptualista por virem esse movimento muito centrado em questões subjetivas e, supostamente, pouco políticas (*idem*). Nesse caminho, as perspectivas de viés mais marxistas e estruturais – as perspectivas críticas – passam a produzir discursos que entendem a elaboração curricular como um processo social, preso à determinação de uma sociedade de classes e que encontra no currículo a perpetuação dessa ordem social (LOPES; MACEDO, 2011). Sendo assim, será considerado fundamental pensar o currículo a partir de temas como: por que tal conhecimento e não outro, quem determina os conhecimentos considerados válidos, quem se beneficia dessa definição e em detrimento de quem, quais culturas são legitimadas ou deslegitimadas por estarem dentro ou fora do currículo. Já em registros pós-estruturais, o entendimento de currículo vai para além de uma prescrição, seja de conteúdos ou comportamentos, e passa a ser entendido como algo onde a centralidade está nas relações entre linguagem e poder, na medida em que o currículo, para estes teóricos, é muitas vezes entendido como uma enunciação (discursiva), e como tal, um espaço de disputa sobre a sua própria definição. Isso advém das discussões que circulam dentro das correntes pós-estruturalistas, como por exemplo o questionamento aos fundamentos de toda base estrutural, conforme Derrida, que afirma que toda estrutura "repousa sob um centro fundante, que garante sua estruturalidade, orienta a

estrutura, mas sempre faz referência a uma presença, a um fundamento que não pode ser explicado no interior da própria estrutura" (LOPES, 2013: 13). Essa ideia está representada no campo curricular, por exemplo, com a ideia de currículo sem fundamento, de Lopes (2015a), que exploraremos à frente. Um outro aspecto central é o que muitos pós-estruturalistas costumam chamar de "morte do sujeito", mas que na realidade significa sua desconstrução, seu descentramento, o questionamento de seu caráter de origem ou fundamento. Essa crítica, que já estava presente nas críticas ao humanismo e existencialismo dentro do estruturalismo se aprofundam no pós-estruturalismo (LOPES, 2013). Suas repercussões mais imediatas no campo do currículo se referem ao conceito de agência e ao debate sobre a tentativa de fixar modelos de formação de sujeitos, discussões sobre modelos de cidadania no currículo, etc.

Embora os entendimentos a respeito do currículo tenham mudado ao longo do tempo e principalmente após a reconceptualização, a tradição da racionalidade tyleriana se constituiu de tal feita hegemônica em certo momento, que é possível encontrar até hoje fragmentos de sua racionalidade em propostas curriculares (LOPES; MACEDO, 2011). E com estes fragmentos transladam-se, também, as consequências do entendimento do currículo a partir dessa óptica engenheiral/administrativa, como classificam alguns autores. Uma dessas consequências é a criação de um vínculo estreito entre currículo e avaliação, na medida que uma parte importante dessa racionalidade se volta a avaliar a própria proposta curricular a partir do atingimento dos objetivos desenhados previamente na etapa de proposição do currículo. Fragmentos da racionalidade tyleriana também são identificados na linguagem utilizada para falar de currículo. Expressões como "design curricular", por exemplo, remetem a essa tendência mais administrativa da perspectiva teórica de Ralph Tyler. Com isso, não pretendo apontar que todo e qualquer fragmento que venha de tal racionalidade é negativo ou deve ser evitado, no sentido de que não se trata aqui de fazer juízo de valor a respeito dessas teorias. Trata-se apenas de, a partir da história das teorias curriculares, entender e apurar o olhar para identificar determinadas tendências na Educação em Ciências, percebendo como se assemelham ou diferem de outras tendências curriculares estabelecidas historicamente e seus pontos de diálogo com o contexto mais amplo no qual são gestadas.

Um ponto importante a se destacar é que desde a reconceptualização, com a ampliação dos entendimentos sobre currículo e suas consequências, alguns debates

passaram a emergir de maneira mais evidente. Se o currículo não se restringe a determinar uma lista de conteúdos ou mesmo uma lista de comportamentos que a escola deve transmitir, mas se relaciona com poder, ideologia, reprodução de comportamentos sociais e as histórias de vida dos estudantes, qual deve ser, então, o papel da teoria curricular? É este um papel prescritivo-normativo ou apenas de crítica ao que existe? É nesse contexto em que se inscreve o debate sobre a normatividade curricular, que exploraremos na próxima seção.

2.2.1 Normatividade Curricular

As discussões sobre normatividade curricular são, em alguma medida, uma metonímia do debate maior sobre a que serve a teoria curricular. Há muita controvérsia em torno das questões colocadas na seção anterior. Michael Young, em seu artigo de 2014, apresenta alguns argumentos que problematizam a dualidade das teorias curriculares, entre seus papéis crítico e normativo. Young (2014) discute a relação entre as produções acadêmicas da área de currículo e as diversas reformas curriculares a que assistimos no mundo, destacando que as primeiras parecem ausentes das reformas. Dando o exemplo do seu país, Young afirma que “é perturbador que a voz da teoria do currículo quase não seja ouvida [nessas reformas]” (p. 195). Segundo ele, isso ocorre porque o papel crítico tem se sobressaído ao papel normativo na teoria de currículo. Para ele, a teoria de currículo deveria ter um papel crítico de analisar as propostas curriculares e apontar os pontos fortes e fracos destas, e, também, um papel normativo de propor normas, regras, que orientem a elaboração e a prática do currículo. Para Young (2014), a visão normativa do currículo “se torna uma fonte de tecnicismo – dizer aos professores o que fazer – se estiver separada de seu papel crítico” (p.194), enquanto que é difícil encontrar um propósito às críticas que estão separadas de suas implicações normativas, isto é, a crítica pela crítica. Young (2014) afirma que esse desequilíbrio entre as funções crítica e normativa é produto de um movimento histórico que os separou, levando muitas vezes a uma crítica sem proposição de alternativas. Para ele, as proposições não precisam se concretizar em uma lista completa do que fazer, mas deve ao menos produzir algumas orientações, que permitam ir além da crítica pura e simples. Michael Young não é único em defender essa posição. Moreira (2013), seguindo argumentos de Michael Apple, lamenta que o campo do currículo venha negligenciando a preocupação “com o ensino, com o currículo, com a forma e o conteúdo do conhecimento escolar, com os sujeitos implicados no processo”.

Esta preocupação de Moreira e Young não se restringe a estes autores, conforme analisam Lopes e Borges (2017), mas, ao contrário, representa um movimento que advoga a centralidade do conhecimento na discussão curricular, defendendo um currículo como um conjunto de conhecimentos mínimos a seres ensinados/aprendidos. Nesse movimento encontramos o que para Young configura o "conhecimento poderoso", ou outras conformações, a depender do teórico em questão. Conforme Young (2014: 192), trata-se de responder à questão "o que todos os alunos deveriam saber ao deixar a escola?". Isto porque, para estes teóricos, ao abarcar diversas novas teorias oriundas das ciências humanas e sociais (em especial em vertentes pós-estruturais), a teoria de currículo teria perdido o foco. O movimento de crítica ao pós-estruturalismo afirma que a discussão do currículo como fenômeno discursivo (notadamente as discussões de registro pós-estrutural) tem esvaziado o debate acerca desses conhecimentos, como ensiná-los e aprendê-los, organizá-los e selecioná-los, em favor de uma discussão que não tem sido frutífera, na medida que é menos normativa do que se defende que deveria ser.

Por sua vez, os curriculistas de matriz pós-estrutural[30] têm (re)afirmado um currículo sem fundamentos (LOPES, 2015a), isto é, um currículo onde perde força a prescrição e ganha força a indecidibilidade, o plural e o heterogêneo. Isso significa se contrapor a tendências homogeneizantes, como a proposta de textos curriculares comuns como a BNCC (Base Nacional Comum Curricular). Para Lopes (2015a), esta tentativa de fixar o que os estudantes devem aprender em geral tende a operar com uma ideia de conhecimento reificado, algo a ser transmitido e não como uma produção cultural sempre traduzida e conectada às experiências dos sujeitos envolvidos nessa performance curricular. Na medida em que se aproxima de um conhecimento reificado, a tendência, segundo Lopes (2015a), é entender esse conhecimento como passível de ser apropriado (em uma lógica de transmissão), medido, listado e aplicado, tornando-se um caminho de acomodação das lógicas que permitem e promovem a atuação dos exames internacionais como PISA e TIMSS, com todas as críticas já endereçadas a esses modelos do ponto de vista da teoria curricular (POPKEWITZ, 2013)[31].

Lopes (2015b) defende, baseada na teoria de discurso de Laclau, que "não existem duas ordens no mundo, uma normativa e outra descritiva" (p.123), e que,

[30] Para um aprofundamento sobre as diferenças entre os registros ditos pós-estruturais, pós-coloniais, pós-modernos, pós-fundacionais e pós-marxistas, consultar Lopes (2013).
[31] Note-se que isto não significa dizer que Young, Moreira e demais teóricos da linha crítica se posicionem favoravelmente aos exames padronizados.

portanto, essa separação de papéis postulada por Young não seria uma boa descrição para a produção curricular. Continua Lopes (2015b): “Tais dimensões [a normativa e a descritiva] se interpenetram, pois não existem fatos sem significação, descrição sem valores” (p. 123). Discordando da premissa de Young de que haveria algo que pode ser classificado como o “melhor conhecimento” e que este deveria figurar no currículo, Lopes (2015b) aponta que todo conhecimento é contextual e produzido a partir de contingências, portanto, esse objetivismo pretendido seria ilusório. Para Lopes (2015), aplicando essa lógica à produção curricular, a tarefa para este campo teórico é identificar o que as diferentes visões possibilitam e viabilizam e o que elas bloqueiam, em vez de se ater a uma função crítico-normativa. Não há que se atuar para preencher o déficit normativo das defesas curriculares de matriz pós-crítica, mas apostar nesse “déficit” – classificado por Lopes (2015a) como vazio normativo em vez de déficit (pela impossibilidade de plenitude) – como sendo algo produtivo do ponto de vista político.

A preocupação de Young (2014) quando defende uma teoria de currículo mais “pragmática” é compreensível se considerarmos os diversos exemplos brasileiros e internacionais, nos quais reformas curriculares têm se sucedido com baixa participação da comunidade educacional e com resultados questionáveis. Por outro lado, os argumentos teóricos de Lopes (2015a; 2015b) são bastante convincentes sobre a inadequação de pensar o currículo com a pretensão de cumprir um papel normativo no sentido que Young propõe. Dessa forma, na presente tese propomos olhar para este debate em termos parecidos à postura que temos encarado a História das Ciências como campo de conhecimento a partir da ótica da História Cultural das Ciências, isto é, buscando algo para além do discurso. Conforme Pimentel (2010) coloca, a História Cultural das Ciências, imbuída de seu olhar para a ciência a partir das práticas, passa a observar não apenas os textos produzidos historicamente pelos cientistas, mas também seus feitos.

Isso significa dizer que talvez não seja tão importante definir qual posição neste debate é a mais acurada do ponto de vista da representação do que é o currículo[32]. Algo mais fundamental seria entender quais os efeitos práticos destes textos nos diversos contextos educacionais ao se adotar uma perspectiva de currículo desta ou daquela forma em termos de sua normatividade. Nesse sentido, torna-se importante a ressalva de Lopes (2015a), endossada por Popkewitz (2013), de que os processos de

[32] Até porque, conforme Lopes (2015a), não é este o objetivo dos curriculistas que se inscrevem na tradição pós-estrutural, já que entendem a própria significação do quem vem a ser currículo como um espaço de disputa política e não de representação da realidade.

estabilização curricular, definição de normas, documentos curriculares mínimos e centralizadores (como é o caso da BNCC) atuam muitas vezes como facilitadores da estandardização que, por sua vez, concorre para a atuação de mecanismos componentes da cultura da testagem. Esta, em linhas gerais e conforme abordado por Miller (2014), consiste na padronização excessiva dos currículos, dos programas de formação docente, de testes de larga escala que procuram aprisionar a educação dentro de um modelo único e previsível de produção de subjetividades, de onde se expulsa as diferenças, o imprevisível e possibilidades diversas à metrificação na educação. Outros efeitos da norma, conforme explorado por Popkewitz (2013) para o caso dos exames de larga escala e por Macedo (2017), dizem respeito à expulsão da produção da diferença nos currículos e também daquilo que não pode ser controlado. Tudo isso, que parece ser um debate eminentemente teórico e abstrato, reafirma que a insistência no papel normativo da teoria de currículo tem como efeitos práticos a produção do mesmo, ou seja, a formação de cidadãos para se encaixar no que já existe. Esta parece ser a grande divergência entre pós-estruturalistas, que entendem que a produção de mudanças no mundo em direção a uma sociedade mais democrática e igualitária só é possível pela produção da diversidade, o que foge à norma e remete a pautas identitárias (mas não apenas); e os estruturalistas, que acreditam que para os marginalizados acessarem posições de poder na sociedade e, assim, produzir essas mudanças, é necessário que estes tenham acesso aos conhecimentos “poderosos” e, por isso, é fundamental a produção de textos que ajudem na organização curricular conforme preconizada por Young (2014).

O debate sobre normatividade é fundamental para a teoria curricular, na medida que mobiliza discussões entre correntes teóricas que são centrais em vários temas diferentes no campo do currículo. Os pós-estruturalistas trazem ainda outras questões a serem consideradas, quando destacam que, pela óptica do discurso, uma crítica curricular ao que existe, além de ajudar a criar consensos dentro da área que permitem caminhar em determinadas direções e não em outras (o que não necessariamente representa o estabelecimento de uma norma), proporciona um movimento “sem fim de pensar, imaginar, propor, reconsiderar, reinterpretar e rever várias concepções situadas e contingentes de currículo e suas óbvias e invariavelmente imbricadas relações com ensino e aprendizagem” (MILLER, 2014, p. 2045). Ou ainda, segundo Lopes (2015a), ao falar do trabalho teórico:

> “A meu ver, essa é a importância do trabalho teórico. Tentar apresentar outra forma de compreender para além do que já se encontra

> estabilizado. É como estar sempre se perguntando: mas não poderia ser de outro modo? O que está possibilitando e sustentando a significação com a qual operamos e que nos subjetiva (nos faz ser ou ser identificado como sendo) de uma determinada maneira? Por que pensar desse modo que é apresentado como única possibilidade, como caminho universalizado e naturalizado, sem que sejam discutidas as condições contextuais que possibilitaram tal proposta? Não se trata de assumir uma posição como certa ou errada criando um novo fundamento, mas tentar entender o que uma dada perspectiva viabiliza e o que bloqueia. Não é uma questão de deve ou não deve, pode ou não pode. Remete à problematização, provocar outras possibilidades de pensar, conceber outras maneiras de objetivar, desestabilizar discursos, sabendo que isso implica estabilizar outros discursos e, portanto, cabe manter aberta a suspeição diante de toda estabilidade." (p. 450)

Essa desconfiança perene, este olhar analítico que discute interesses por trás das reformas curriculares, é o que talvez constranja determinados avanços do capital nos temas da educação. Embora não estejam engajados diretamente neste debate, entendo que é desse sentido mais analítico que normativo que Bazzul (2014) e Carter (2014) falam quando afirmam a importância de investigar os discursos que sustentam práticas da educação em ciências e da pesquisa em educação em ciências, seus jargões, siglas e tradições. Quando Young (2014) afirma que vê com maus olhos o fato de a voz dos curriculistas não ser ouvida em processos de reforma curricular, isso se deve menos ao fato de estes não produzirem pesquisas de cunho mais normativo e mais a outros interesses envolvidos. No caso do Brasil, por exemplo, após a publicação das diversas versões da BNCC (e mesmo antes) não faltaram análises sobre esse movimento do governo. A lógica que parece mobilizar Young nessa crítica lembra muito o que Santos (2010a) chama de pensamento abissal, isto é, a produção de uma linha abissal que determina o que é válido e o que não é, algo típico de uma lógica colonizadora. No caso, seria válida toda produção que desempenhasse um papel normativo, que, assumindo como posta/dada a proposição de algo como a BNCC, pudesse ajudar a construí-la ou reformulá-la, e não seria válida qualquer crítica que se endereçasse aos próprios pontos de partida ou pressupostos que lastreiam a proposição de tal documento curricular. Ao propor isso, Young (2014) minimiza o jogo político que está implicado na produção de pesquisas, sejam elas dentro do campo do currículo ou não. De outra forma: não deveríamos estar obrigados a produzir pesquisas que se encaixem dentro da linha abissal. No caso da BNCC, a propósito, pesquisas como as de Avelar e Ball (2017), mapeiam a rede de influências contida na proposição desses documentos curriculares e apontam para interesses econômicos de grandes grupos nesse movimento. Dicotomizando artificialmente a questão – tendo em vista o

argumento de Lopes (2015a) que liga inextrincavelmente as funções crítica e normativa para a teoria curricular – podemos perguntar: deveria o campo do currículo abster-se da crítica (ou torná-la subsidiária ao papel normativo) e adotar um viés normativo para ajudar a construir essa proposta ou segue sendo importante apontar esses movimentos da geopolítica educacional para que coloque em pauta os interesses que estão por trás das reformas propostas? Cabe lembrar ainda que optando pelo segundo caminho, ainda assim, segundo Lopes (2015b), estariam sendo produzidos elementos que ajudam a construir a proposta curricular.

Tomando como base a discussão sobre normatividade e ainda o breve histórico das transformações pelas quais passou a teoria curricular, passamos agora à análise de alguns pressupostos que podem ser identificados em uma leitura de propostas encontradas na literatura sobre Natureza da Ciência.

2.3 Natureza da Ciência segundo a teoria curricular

Dada a extensão do debate sobre NdC na literatura de educação em ciências, para uma análise produtiva que leve em consideração diversos aspectos da composição dos textos curriculares que analisaremos a seguir, é necessário restringir a análise a uma quantidade razoável a ser abordada na extensão desse capítulo e que, ao mesmo tempo, seja capaz de apontar questões importantes à tese aqui construída.

Para isso, antes é importante esclarecer o que estamos classificando como "modelos" de NdC. Essencialmente, entendemos tais modelos como proposições presentes na literatura de educação em ciências que constituem um todo coerente, que possuem uma proposta de como poderia ser implementado a temática na prática pedagógica. Com base nisso e para garantir a relevância de nossa análise, utilizaremos o resultado do trabalho de Amador-Rodríguez e Aduriz-Bravo (2017), quando apontam que na literatura as duas concepções emergentes de NdC[33] mais citadas, segundo a base de dados Google Acadêmico e que compartilham pressupostos teóricos com a visão consensual – que apresentaremos a seguir – são:

1. Allchin, D. (2011c). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. Science Education, 95(3), 518-542. **(395 citações)**

[33] O número de citações foi atualizado para as citações recebidas no Google Acadêmico até o dia 31/01/2018.

2. Irzik, G. & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for Science education. Science & Education, 20(7-8), 591-607. **(294 citações)**

O modelo de NdC mais citado é a visão consensual, representada por um conjunto de publicações de Norman Lederman e colaboradores (McCOMAS, 1998; McCOMAS, 2008; OSBORNE et al, 2003; LEDERMAN et al, 1998; LEDERMAN et al, 2002; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000). Cumpre destacar que tanto a proposição de Allchin (2011) quanto a proposição de Irzik e Nola (2011) já geraram publicações que avaliam a implementação em sala de aula dessas propostas como Santos (2018), que utiliza a proposta de Allchin, em especial sua proposta de dimensões de confiabilidade da ciência, para abordar um episódio da História da Química em sala de aula. No caso da proposta de Izik e Nola (2011), posteriormente ampliada em Irzik e Nola (2014), esta inspirou a criação de um modelo teórico relacionado a NdC, chamado Family Resemblance Approach (Abordagem da Semelhança de Famílias) (DAGHER; ERDURAN, 2014; 2016), que tem gerado diversas implementações em diferentes níveis educacionais. A respeito da proposta de Lederman e colaboradores, é desnecessário apontar a sua ampla penetração na área, já que seus artigos sobre NdC em que desenvolve o modelo teórico posteriormente cunhado de “lista consensual” estão entre os mais citados no que se refere ao tema “Natureza da Ciência” e seus instrumentos de avaliação já foram traduzidos em diversas línguas, inclusive o português (EL HANI et al, 2004), e usados em diversos países. Motivados por essas considerações, nessa seção descreveremos os três modelos de NdC selecionados e faremos uma análise à luz dos aspectos levantados na discussão sobre teoria curricular.

2.3.1 A visão consensual

O modelo teórico mais conhecido sobre a NdC, a “consensus view”, é uma lista de afirmações sobre a natureza do desenvolvimento científico que representaria um consenso entre especialistas sobre as principais características do empreendimento científico e serviria como guia orientador para que o professor pudesse explorar a dimensão meta-científica e epistemológica da construção da ciência (LEDERMAN et al 2002; MCCOMAS, 2008; OSBORNE et al, 2003). Este modelo teórico inspirou a criação de diversos testes padronizados destinados a avaliações de pequena e de larga escala

(VNOS, VOSTS, COCTS, etc), que ficaram amplamente conhecidos e foram utilizados em muitos trabalhos na área.

Rememorando a trajetória de construção dessa persistente perspectiva sobre a NdC, Hodson e Wong (2017) apontam que a geração de um consenso com itens para descrever a ciência começa a se tornar mais clara por volta dos anos 2000. McComas e Olson (1998) fazem, em 1998, uma pesquisa em documentos curriculares de países de língua inglesa (Estados Unidos, Canadá, Austrália, Inglaterra / País de Gales e Nova Zelândia), concluindo que nos currículos, que já fazem menção ao ensino sobre a ciência nas escolas, há uma sobreposição considerável e certos elementos de NdC. Estas características foram definidas, então, pelos autores dentro de quatro categorias: História das Ciências, Filosofia da Ciência, Sociologia da Ciência e Psicologia. Com base nisso, são apontadas 30 afirmações sobre a ciência que podem ser identificadas em ao menos um dos currículos analisados. Dessas afirmações, as catorze ideias que aparecem em um maior número de currículos são selecionadas e transformadas numa lista consensual sobre a ciência (Figura 1).

TABLE I
A consensus view of the nature of science objectives extracted from eight international science standards documents.

- Scientific knowledge while durable, has a tentative character.
- Scientific knowledge relies heavily, but not entirely, on observation, experimental evidence, rational arguments, and skepticism.
- There is no one way to do science (therefore, there is no universal step-by-step scientific method)
- Science is an attempt to explain natural phenomena
- Laws and theories serve different roles in science, therefore students should note that theories do not become laws even with additional evidence.
- People from all cultures contribute to science
- New knowledge must be reported clearly and openly
- Scientists require accurate record keeping, peer review and replicability
- Observations are theory-laden
- Scientists are creative
- The history of science reveals both an evolutionary and revolutionary character
- Science is part of social and cultural traditions
- Science and technology impact each other
- Scientific ideas are affected by their social & historical milieu

Figura 1: Uma visão consensual dos objetivos para a Natureza da Ciência extraídos de oito documentos internacionais de padrões para a ciência. Fonte: McComas, Clough, Almazroa (1998)

McComas e Olson (1998) reconhecem a falta de consenso sobre o que é a ciência e sobre como ela funciona, porém destacam que é possível encontrar pontos de concordância sobre isso para fins didáticos. Esses pontos de concordância sintetizados na lista consensual serviriam para estabilizar um conhecimento de NdC destinado à educação básica. Argumentam ainda que, na educação básica, discussões mais complexas sobre a ciência seriam infrutíferas.

Alguns anos mais tarde, Osborne e colaboradores (2003), a partir de um estudo com a comunidade especializada (25 *experts*), apontou para uma concordância razoável, conforme ilustra a Figura 2, com os aspectos levantados por McComas, Clough e Almazroa (1998) e discordância com Alters (1997a). Este último, após estudos realizados também com participação de especialistas (com 187 questionários respondidos por especialistas) chegou à conclusão de que não havia nem mesmo um consenso mínimo entre os cientistas[34].

Table 4
Comparison of themes emerging from this study with those from McComas and Olson's (1998) study of national standards

McComas & Olson	Delphi Study
Scientific knowledge is tentative	Science and Certainty
Science relies on empirical evidence	Analysis and Interpretation of Data
Scientists require replicability and truthful reporting	Scientific Method and Critical Testing
Science is an attempt to explain phenomena	Hypothesis and Prediction
Scientists are creative	Creativity Science and Questioning
Science is part of social tradition	Cooperation and collaboration in the development of scientific knowledge
Science has played an important role in technology	Science and Technology[b]
Scientific ideas have been affected by their social and historical milieu	Historical Development of Scientific Knowledge
	Diversity of Scientific Thinking
Changes in science occur gradually	
Science has global implications	
New knowledge must be reported clearly and openly[a]	

[34] O artigo de Alters (1997a) foi recebido com uma crítica do grupo de Lederman (Smith et al, 1997) e uma tréplica de Alters (1997b), o que sugere um debate acalorado.

Figura 2: Comparação de temas emergentes desse estudo com aqueles do estudo de McComas e Olson (1998). Fonte: Osborne et al (2003).

As tentativas de geração de um consenso sobre NdC, porém, datam de estudos mais antigos. Também de Alters (1997a), observamos que aquelas que talvez tenham sido as primeiras listas de consenso sobre NdC foram geradas ainda na década de 80, em 1983 com a tese de doutoramento de Norman Lederman (1983 apud ALTERS, 1997a), com os estudos de Giddings (1982 apud ALTERS, 1997a). Na década de 90, os questionários de avaliação criados por Aikenhead e colaboradores (VOSTS) representam também uma tentativa de estabilizar um consenso, iniciando uma certa tradição de levantamento e avaliação de concepções de estudantes, docentes e outros atores escolares e não escolares sobre NdC, classificando-as em naïve ou não, dependendo do quanto se aproximavam à visão de filósofos famosos como Thomas Kuhn, Barry Barnes, entre outros. Essa "lista consensual" aos poucos foi deslizando em direção aos documentos curriculares, tanto que Alters (1997a) aponta que em 1993 o Projeto 2061 da AAAS já apresentava em seu texto uma lista de princípios baseados na NdC que os alunos deveriam saber, marcando, assim, a adoção de uma lista consensual num documento educacional.

Não foi apenas o canadense Glen Aikenhead que utilizou questionários para avaliar visões sobre NdC a partir de uma lista consensual mais ou menos estável. Em 2002, em artigo que hoje conta com quase 2000 citações, Lederman et al (2002) fazem a proposta do questionário VNOS, posteriormente dividido nos formatos A, B e C. Esta proposta, como denota seu grande número de citações, foi amplamente utilizada na área de Educação em Ciências para gerar avaliações das concepções sobre NdC. El-Hani, Tavares e Rocha (2004) apresentaram uma versão em português de tal material. O uso de questionários de avaliação para concepções de Natureza da Ciência, como apontam Lederman, Wade e Bell (1998), no entanto, não é exclusivo dos instrumentos citados, constituindo-se numa tradição que vem desde 1954. Até o ano de 1995 havia 24 proposições de materiais de avaliação de concepções de NdC. Apesar disso, os documentos que surgem a partir da década de 90 se diferenciam dos primeiros por estarem associados a listas de características sobre a ciência mais ou menos estáveis[35].

[35] A cautela aqui ao dizer que as listas de características são "mais ou menos estáveis" ocorre pois, conforme comentado por Alters (1997a), em alguns casos como o do questionário de Aikenhead e colaboradores, esta lista não está definida explicitamente.

Isto é, representam o estabelecimento de uma norma que passa a ser replicada na comunidade de Educação em Ciências.

Cabe notar que seus proponentes parecem constituir um “bloco” de pesquisadores que a defendem, conforme pode ser notado no artigo coletivo (Smith et. al, 1997) de respostas às críticas de Alters (1997a). Além disso, a lista consensual muda, ainda, algumas vezes ao longo dos anos 2000, como pode ser notado nas publicações mais recentes. Em 2008, William McComas não apenas reafirma o consenso afirmando que pesquisas diferentes “surpreendentemente sugeriram conjuntos paralelos de objetivos para o ensino de NdC na educação básica” (McCOMAS, 2008: 250), como amplia o conjunto de *tenets* (Figura 3), a partir de uma pesquisa sua realizada em 2005 com livros populares de divulgação científica (“para leitores gerais”), que mostra “alto nível de correlação” com listas sugeridas por outros pesquisadores. A evidenciação dos mecanismos de atuação interna para formação da chamada lista consensual poderia gerar uma pesquisa à parte.

Table 1 A list of core NOS ideas appropriate to inform K-12 curriculum development, instruction and teacher education

(A) Science produces, demands and relies on empirical evidence
(B) Knowledge production in science shares many common factors and shared habits of mind, norms, logical thinking and methods such as careful observation and data recording, truthfulness in reporting, etc. In addition, the principal aspects of scientific methodology holds that:
- Experiments are not the only route to knowledge
- Science uses both inductive reasoning and hypothetico-deductive testing
- There is no one step-wise scientific method by which all science is done
- Science has developed through ‘‘normal science’’ and ‘‘revolution’’ as described by Kuhn (1962)

(C) Scientific knowledge is tentative, durable and self-correcting. (This means that science cannot *prove* anything but scientific conclusions are still valuable and long lasting because of the way in which they are developed but mistakes will be discovered and corrected as part of the process)
(D) Laws and theories are related but distinct kinds of scientific knowledge. Hypotheses are special, but general kinds of scientific knowledge)
(E) Science has a creative component
(F) Science has a subjective element. In other words, ideas and observations in science are ‘‘theory-laden’’; this bias potentially plays both positive and negative roles in scientific investigation
(G) There are historical, cultural and social influences on the practice and direction of science
(H) Science and technology impact each other, but they are not the same
(I) Science and its methods cannot answer all questions. In other words, there are limits on the kinds of questions that can be asked of science

Figura 3: Uma lista de ideias de NdC basais apropriadas para informar o desenvolvimento curricular para educação básica, instrução e formação de professores. Fonte: McComas (2008).

Podemos, assim, sintetizar algumas características da lista consensual. Ela é uma proposta que nasce em um contexto de questionamento ao ensino de ciências pelo fato de este se dedicar mais aos “fatos, hipóteses e teorias da ciência – o ‘que’ da ciência – mas não [...] aos aspectos sobre onde esse conhecimento foi originado – o ‘como’ da ciência” (DUSCHL apud McCOMAS; CLOUGH; ALMAZROA, 1998: 9). Isto é, há uma crítica ao ensino sobre os fatos da ciência em detrimento do ensino sobre os processos de construção da ciência. Essa crítica já estava presente em Matthews (1990), e denota, em certo sentido, uma série de críticas ao ensino de ciências tradicional que levaram à inclusão de objetivos de conhecimento e conteúdos epistemológicos e meta-científicos nos documentos curriculares americanos dessa época, como o da AAAS e o projeto 2061. Entretanto, raramente é mencionado nessas propostas os detalhes a respeito do contexto, para o qual se propõe tal educação em ciências com viés epistemológico explícito.

Analisando as propostas, parece claro que os autores frequentemente se referem ou intentam à criação de parâmetros universais ou universalizáveis sobre o que se deve ensinar sobre a ciência nas escolas. A fonte do conhecimento é sempre um parâmetro externo, seja o consenso de especialistas (ALTERS, 1997; OSBORNE et al, 2003; LEDERMAN et al, 2002) um consenso baseado na análise de documentos curriculares (McCOMAS; OLSON, 1998), ou outros. Esse, sem dúvida, é um aspecto que aproxima o desenvolvimento desses textos curriculares à racionalidade tyleriana/bobbittiana, tendo em vista que nessas racionalidades, a fonte (ou ao menos uma das fontes, no caso da proposta de Tyler) do conhecimento é o consenso de especialistas no tema. Além disso, o que se está a propor é a lógica do “melhor conhecimento possível” para a temática. Neste caso, embora haja a retórica como em Matthews (1995) de que ensinar sobre a NdC permitiria o posicionamento crítico dos cidadãos frente às temáticas científicas, ao engessar uma lista de características “que deveriam ser ensinadas” ou que “todos os estudantes deveriam saber” (OSBORNE et al, 2003), fica a impressão que o que se está a fazer é substituir conteúdos conceituais por conteúdos epistemológicos, possibilitando que mais uma vez a capacidade crítica dos estudantes fique eclipsada por conteúdos que “devem ser ensinados”.

Esta observação endossa o argumento de Lopes (2015a; 2015b) e Macedo (2017) no debate sobre normatividade. Analisando essa trajetória específica de formação de um consenso sobre “o que deve ser ensinado” a respeito da NdC, é possível observar que estes conhecimentos da lista consensual, que hoje já são

hegemônicos no debate sobre introdução da epistemologia na escola básica, nem sempre estiveram lá. E, mais do que isso, a demanda de inclusão não parece ter surgido da percepção de que esses conhecimentos eram/são conhecimentos poderosos fundamentais para acesso a posições de poder na sociedade. Eles foram colocados lá por formuladores acadêmicos de políticas públicas. E analisando as publicações, não é possível encontrar um compromisso explícito desses formuladores a respeito de uma educação que visa transformar realidades, porque sequer as realidades a que se destinam essas formulações são discutidas. A discussão centra-se em torno da problemática do conhecimento, ao que Alsop e Gardner (2017) chamam de uma espécie de reedição do debate demarcacionista na filosofia das ciências.

Outro ponto de contato entre a lista consensual e a racionalidade tyleriana materializa-se por meio da concepção de avaliação que está por trás da primeira. Por intermédio de instrumentos que buscam analisar em que grau os objetivos foram atingidos, o objetivo da avaliação é “fornecer informações sobre a eficácia das experiências de aprendizagem na modificação do comportamento dos alunos” (*idem*, p.49). Esta também é a busca de muitos trabalhos dentro da perspectiva da visão consensual, ao relatar a criação de experiências educacionais que, ao final, lançam mão de questionários preparados previamente (VNOS, p. ex.) para avaliar a eficácia do processo em mudar concepções dos estudantes. Uma vez que estes questionários são definidos previamente, mais uma vez há o desprezo do contexto em que essas experiências educativas são levadas a cabo e há o reforço da preocupação em padronizar os resultados de diferentes realidades. Como seria possível ao aluno analisar o próprio contexto, que é sempre local, com uma lista de características gerais e pretensamente universais sobre a ciência? Todos os aspectos levantados pela lista são importantes em todos os contextos? Há aspectos que não estão na lista e deveriam ser considerados em algum contexto específico? Ser um cidadão crítico significa saber mais sobre determinados itens da lista que de outros ou simplesmente significa saber mais sobre os itens da lista?

Estas avaliações propostas pelos formuladores da lista consensual flertam significativamente com a cultura da testagem analisada por Miller (2014). Outros pesquisadores, vão além e admitem que é importante manter atenção na constituição dos perfis conceituais, uma vez que muitas das concepções contidas na lista consensual já são conhecidas dos estudantes na forma de concepções alternativas e, por isso, o trabalho docente seria engajar-se no ensino para a mudança conceitual (CLOUGH,

2006). Nessa perspectiva, observamos em um exemplo prático como a centralidade do conhecimento e a definição sobre o que deve ser ensinado como um paradigma para todos os contextos e situações escolares vitima não só os conteúdos conceituais, como também a discussão epistemológica sobre a ciência, que deveria ter em seu cerne a contextualização, capaz de evitar o perigo de tornar-se apenas novos conteúdos, como alertou Matthews (2012). Por esse motivo, a lista consensual deve ser repensada na medida em que não há acordo desses parâmetros que aqui analisamos com as premissas básicas de onde supostamente derivariam (formação de cidadãos críticos, etc).

2.3.2 Ciência integral

A proposta do autor americano Douglas Allchin tem origem em seu artigo de 2011, publicado na revista Science Education, “Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science”. Nesta publicação, o objetivo enunciado por Allchin é, fundamentalmente, propor uma nova forma de avaliar o conhecimento de estudantes a respeito da NdC. Para isso, ele parte de uma crítica ao modelo “consensus view”, abordado no item anterior, especialmente ao fato de este modelo avaliativo para NdC se basear em conteúdo declarativo sobre a ciência. Retomando críticas anteriores endereçadas à lista consensual, Allchin (2011c) afirma que o conhecimento sobre a ciência precisa ser funcional e não declarativo. Ou seja, a utilização de uma lista de asserções sobre a ciência teria como consequência a memorização e entendimento sobre a ciência e não necessariamente a aplicação desse conhecimento, isto é, as capacidades de análise e avaliação diante de situações reais onde os conhecimentos sobre ciência deveriam ser mobilizados. Outro aspecto que Allchin (2011c, 2012) chama a atenção é a inapropriação de uma prática que se tornou comum a partir da lista consensual, qual seja: a utilização de casos e episódios (históricos ou não) que ilustram um ou alguns itens da lista consensual sobre ciência (e.g. McCOMAS, 2008). Para o autor, esta atitude pode levar a uma visão parcial do que é a ciência, na medida que apenas alguns aspectos serão abordados e não outros. Para superar essa característica, propõe a utilização de casos autênticos, sejam históricos ou contemporâneos, em que haveria uma abrangência maior a respeito dos diversos aspectos que compõem a prática científica. Com base nisso, propõe o seu modelo, que nomeia como “ciência integral”, justamente por entender que a

> “ciência integral, como a comida integral, não exclui ingredientes essenciais e possibilita um entendimento [sobre ciência] mais saudável. Metaforicamente, educadores devem desencorajar uma dieta de “ciência escolar” refinada e altamente processada. Listas curtas sobre aspectos de NdC deveriam ser reconhecidas como intrinsecamente incompletas e insuficientes para a alfabetização científica funcional.” (ALLCHIN, 2011c: 524) [36]

Allchin (2011c), então, propõe uma lista de aspectos (que ele ressalta não serem exaustivos) referentes à confiabilidade da informação científica, sintetizados em uma lista (Figura 4). Esses aspectos fazem referência aos protótipos construídos pelo autor para avaliar o conhecimento de estudantes a respeito de NdC, como o caso da mamografia, da relação entre vacinas e autismo, entre outros. Esses protótipos constituem-se em casos extraídos, em geral, da mídia tradicional, com fonte para diversos recursos, nos quais os estudantes podem se informar para construir um argumento. Como Allchin (2011b) aponta, a avaliação sobre o que os estudantes aprenderam deve ser feita em relação à robustez das evidências que eles levam em consideração ao construir sua resposta ao problema proposto no protótipo, em vez do alinhamento a determinadas afirmações que porventura caracterizem a ciência. O autor propõe ainda, em termos gerais, que a avaliação ocorra sob três critérios: organização / unicidade do argumento em torno de uma ideia central; abrangência, isso é, sua completude, a capacidade de relacionar ideias diferentes; e profundidade, a capacidade de transmitir ideias de forma convincente, usando exemplos.

[36] Original: “Whole Science, like whole food, does not exclude essential ingredients. It supports healthier understanding. Metaphorically, educators must discourage a diet of highly processed, refined “school science.” Short lists of NOS features should be recognized as inherently incomplete and insufficient for functional scientific literacy.”

TABLE 2
Dimensions of Reliability in Science

Bulletpoints identify possible scorable items on a free response question about NOS. This list is illustrative, not exhaustive. [Items relevant to questions in Table 1 and Appendix are noted as follows: M = mammogram recommendations; C = Climategate; A = autism; F = facilitated communication; B = beriberi.]

1. Observations and reasoning
   - evidential relevance
   - role of systematic study or observation (versus anecdote) [M,A]
   - completeness of evidence [F,A]
   - robustness (agreement among different types of data) [M,C]
   - role of probability in inference [M]
   - alternative explanations [F,B]
   - verifiable information versus values [M]
2. Methods of investigation
   - controlled experiment (one variable) [B]
   - blind and double-blind studies [F]
   - statistical analysis of error [A]
   - replication and sample size [M,A,B]
   - correlation versus causation [A,B]
3. History and creativity
   - consilience with established evidence [F]
   - role of analogy, interdisciplinary thinking
   - conceptual change [M,A]
   - error and uncertainty
   - role of imagination and creative synthesis
4. The human context
   - spectrum of motivations for doing science
   - spectrum of human personalities in science [C]
5. Culture
   - role of cultural beliefs (ideology, religion, nationality, etc.)
   - role of gender bias [M]
   - role of racial or class bias
6. Social interactions among scientists
   - collaboration or competition among scientists
   - forms of persuasion
   - credibility [M,C,A,F]
   - peer review [M,A,F]
   - limits of alternative theoretical perspectives and criticism [F]
   - resolving disagreement
   - academic freedom [A]
7. Cognitive processes
   - confirmation bias/role of prior beliefs [M,F]
   - emotional versus evidence-based perceptions of risk [M,A,F]
8. Economics / funding
   - sources of funding [M,A]
   - personal conflict of interest [A]
9. Instrumentation & experimental practices
   - new instruments and their validation [F]
   - models and model organisms [B]
   - ethics of human subject experimentation [B]
10. Communication and transmission of knowledge
    - norms of handling scientific data [C]
    - nature of graphs [C]
    - credibility of various scientific journals and news media [M,C,A,F]
    - fraud or other forms of misconduct [C,A]
    - social responsibility of scientists

Figura 4: Dimensões de confiabilidade da Ciência. Fonte: Allchin (2011c)

"Climategate," Nov. 2009

In November 2009, the author of "The Air Vent," a blog critical of global warming claims, received an anonymous note:

> *We feel that climate science is, in the current situation, too important to be kept under wraps. We hereby release a random selection of correspondence, code and documents. Hopefully it will give some insight into the science and the people behind it.*

Included was a link to a file that contained over 1000 e-mails and other material apparently hacked from a server at the Climate Research Unit of the University of East Anglia in Britain. In the e-mails, climatologist Philip Jones, a leading member of the International Panel on Climate Change (IPCC), included comments about scuttling efforts to release data under a Freedom of Information Act request, a "trick" he used in graphing data and strategies to limit the publication of critics in peer-reviewed journals. James Delingpole, in a blog for England's *Telegraph*, promptly dubbed it "Climategate." The news sparked a flurry of comments by skeptics who presented this as proof of their repeated claims about fraud, collusion, and conspiracy in climate science. Within a week, the term "Climategate" could be found over 9 million times on the Internet.

While sitting at lunch with two coworkers, one mentions how the case just proves that global warming is a joke. The other, an avid environmentalist, contends that scientists do not do things like that, indicating that the posted documents themselves are probably fraudulent. Amid mutual accusations of being misinformed and biased, they ask you set the other straight. Comment on a what a well-informed interpretation of events in this case might indicate about the conduct of science and the evidence for climate change.

Resource documents

- *New York Times* (Nov. 21, 2009): Andrew Revkin, "Hacked E-mail is New Fodder for Climate Dispute" http://www.nytimes.com/2009/11/21/science/earth/21climate.html
- James Delingpole Blog, *Telegraph.co.uk* (Nov. 20, 2009) "Climategate: the final nail in the coffin of 'Anthropogenic Global Warming'?" http://blogs.telegraph.co.uk/news/jamesdelingpole/100017393/climategate-the-final-nail-in-the-coffin-of-anthropogenic-global-warming/
- *Nature* news brief (Nov, 26, 2009): "Storm clouds gather over leaked climate e-mails"

Figura 5: Climategate – um exemplo de protótipo para avaliar o conhecimento de estudantes sobre a ciência. Fonte: Allchin (2011c).

A primeira observação importante sobre o modelo proposto por Allchin (2011c) é a sua ênfase na avaliação. Assim como o instrumento de Lederman, a motivação principal de Allchin ao propor seu modelo é avaliar o conhecimento de estudantes sobre a ciência. Diferente de Lederman, essa avaliação não se dá a partir de uma métrica de comparação com um conhecimento declarativo sobre a ciência (os *tenets*), mas de toda forma, ao fazer essa escolha, Allchin opta por enfatizar uma dimensão da educação –

qual seja, a da avaliação – em detrimento de outras dimensões. O autor assume como dado o fato de que os professores “inevitavelmente ensinam para o teste” (ALLCHIN, 2011c: 519) ou que “em nossa nova era do ‘accountability’, pelo menos, os testes não irão embora tão cedo” (ALLCHIN, 2011b: 193). A partir disso, endossa: “O que poderia ser, então, considerado um bom teste para habilidades de NdC?” (ALLCHIN, 2011c: 519). Ou ainda mais enfaticamente: “Por que os professores não deveriam ensinar para o teste?” (ALLCHIN, 2011b: 193). Os testes são elaborados com base em uma matriz de referência, que no caso de Lederman mede a distância das respostas dos estudantes ao que se considera o consenso de experts no conhecimento sobre a ciência, e no caso de Allchin aposta na medida da robustez das evidências mobilizadas pelos estudantes quando estes avaliam uma controvérsia científica. Considerando isso, independentemente do julgamento que se faça a respeito de um ou outro modelo (como mais ou menos apropriado para o tipo de educação em ciências que desejamos), é certo que tanto um modelo quanto o outro, com sua ênfase em processos avaliativos – isto é, o estreitamento da relação entre currículo e avaliação –, aproximam-se de registros tylerianos, do ponto de vista curricular. No caso de Allchin (2011c), a pedra angular da alfabetização científica é tomada como objetivo para todos os contextos educacionais, sem maiores questionamentos, o que Alsop e Gardner (2017) já haviam apontado como algo recorrentemente presente na literatura e que deixa de fora um debate importante sobre o que significa ser considerado “letrado” ou “iletrado” em algo (CORBETT, 2008).

Ainda que avaliemos a proposição de Allchin como aparentemente menos normativa que a de Lederman, há, ainda, nos dois casos, um ponto de fuga para o qual convergem os esforços da pesquisa, isto é, um objetivo final de formação que não é posto em questão. Conforme o curriculista Gert Biesta (2007), a pesquisa educacional, a partir de uma retórica que valoriza a adoção de práticas educativas baseadas em evidências oriundas da pesquisa, tem dividido a ação educativa entre fins e meios. Nessa divisão, os fins da educação têm sido assumidos como “dados”, enquanto os meios constituiriam aquilo para que verdadeiramente a pesquisa deveria se voltar. Esta perspectiva constitui um modelo tecnicista a respeito do pra quê serve a pesquisa educacional e a própria educação em si (BIESTA, 2007). É importante notar que Allchin (2011c) chega a postular um princípio fundacional da educação em ciências como sendo promover nos estudantes a capacidade de “entender como a ciência funciona com o objetivo de interpretar a confiabilidade das afirmações científicas nas tomadas de decisão públicas e pessoais” (p. 521). Como princípio fundacional, ele não é posto em questão, tornando-se uma espécie de axioma que justificará o desenvolvimento de

meios (os instrumentos de avaliação) para atingir esse fim. Note-se que esse argumento não significa que toda pesquisa deve debruçar-se de forma profunda sobre ambas as questões (os fins e os meios), mas a afirmação de Allchin a respeito dos fins da educação em ciência não possui uma característica situada e contingente, mas sim totalizante e normativa. Ele não aborda, por exemplo, se este axioma seria válido para escolas urbanas ou rurais, escolas estadunidenses ou quaisquer escolas ao redor do mundo, etc. Ao mesmo tempo, ao não pontuar essas características situadas – e, portanto, não problematizar seu próprio axioma –, ocorre a desconexão entre fins e meios, na medida que o que passa a ser importante na pesquisa em tela é o desenvolvimento de um instrumento avaliativo otimizado para esse postulado estabelecido por ele como objetivo da educação em ciências em todo tempo e espaço.

Ainda relacionado a esse objetivo estabelecido por Allchin, pode-se questionar se a tomada de decisões pessoais é algo relevante para uma educação em ciências democrática, conforme discussão estabelecida por Rudolph e Horibe (2016). Ou ainda, em que medida a tomada de decisões está ao alcance de todos os cidadãos. E por último mas não menos relevante, deve-se questionar em que medida uma educação em ciências focada na de decisões envolvendo temas científicos em contextos pessoais pode reforçar um ideário neoliberal na Educação em Ciências (PINHÃO; MARTINS, 2016). Colocando de outra forma, é possível afirmar que mesmo se o estudante souber avaliar um caso profundamente como Allchin propõe, isso de pouco valerá se houver ainda um fosso entre a população e os espaços de decisão sobre políticas públicas envolvendo temas científicos. Por isso, é fundamental explorar com os estudantes as contingências estruturais da sociedade que estão envolvidas e de que forma o discurso científico (ou discursos que se pretendem científicos) se envolve na construção desse déficit democrático.

Allchin (2011c) afirma que o conhecimento sobre a ciência deve ser contextualizado, o que o motiva a construir seus protótipos usando notícias reais para avaliar o conhecimento dos estudantes sobre NdC. Entretanto, entendemos ser importante pensar a contextualização de maneira mais ampla. Barton (1998) afirma que nos movimentos de contextualização do conhecimento a relação do conhecimento com os estudantes é pensada como uma via de mão única, em que algo é construído a priori para ser ensinado aos estudantes, deixando de levar em consideração o contexto em que o conhecedor e o conhecido (os estudantes e o conhecimento) se relacionam. Costa e Lopes (2018), na mesma direção, entendem que a contextualização em geral torna-

se uma tentativa de expulsão da diferença de dentro do currículo, daquilo que pode fugir ao controle, buscando prever ao máximo o que deve ser abordado, inclusive definindo quais devem ser os elementos de contextualização para cada situação. Com isso, adiciona-se ao currículo estes elementos de contextualização e, depois, busca-se entregar uma experiência pronta, estreitando a possibilidade de construção curricular *"in the making"*.

O que parece um preciosismo já que existe uma multiplicidade de casos propostos e algum caso deveria se adequar a cada realidade, na verdade é uma questão mais profunda que envolve a disputa do sentido de contextualização. Como palavra polissêmica, o termo "contexto" alude a diferentes sentidos a depender do campo em que circula. Se tomamos, por exemplo, o sentido de contexto na historiografia, este diz respeito ao entendimento da história dos conhecimentos e práticas históricas devidamente ligados aos espaços em que circulou, ao ambiente cultural da época e aos acontecimentos mais amplos do ponto de vista histórico. Matthews (1995), ao propor a aproximação de História e Ensino de Ciência, tinha a intenção de superar um ensino de ciências abstrato, cuja atenção não fosse destinada apenas aos produtos da ciência, mas também à história de sua construção, e às bases sociais e epistemológicas que a sustentam. Além disso, o discurso sobre a necessidade de contextualização tem sido reverberado como um esforço necessário para humanizar a educação em ciências (AIKENHEAD, 2009) e promover o entendimento dos estudantes sobre as relações entre ciência e sociedade, bem como aproximar as ciências de seus próprios contextos sociais, buscando uma identificação cultural entre os estudantes e a ciência que lhes é ensinada (*idem*). São, portanto, diversos sentidos para contextualização do conhecimento que precisam ser entendidos segundo os seus deslizamentos de significados. Podemos localizar estes diferentes (e que interseccionam entre si) tipos de contextualização como habitando um entre-lugar de dois pólos virtuais[37] entre a normatividade absoluta, em que todas as ações pedagógicas seriam prescritas, e a deliberação circunstancial absoluta, onde tudo estaria em aberto para deliberação dos atores sociais envolvidos com o ato educativo em cada circunstância. Quando a contextualização se aproxima da normatividade absoluta, podemos dizer que ela assume um papel de fixar o conhecimento como um objeto, uma coisa (cf. LOPES, 2015a) que deve ser transmitida / apreendida. No caso dos protótipos de Allchin (2011c), entendemos que estes se aproximam do polo normativo na medida que definem temas

[37] Chamamos de pólos virtuais por entender que não há nem normatividade absoluta nem a deliberação circunstancial absoluta. Estas são apenas categorias para facilitar a análise.

de interesse e elementos de contextualização prévios à prática de sala de aula. Allchin aponta que estes casos extraídos de eventos atuais seriam encontrados pelo “cidadão típico” (*ibidem*, p. 519) na mídia em geral. Cabe questionar aqui a respeito de que cidadão típico estamos tratando. Um homem do campo ou um indígena brasileiro, por exemplo, cabem dentro desta categoria “cidadão típico” de Allchin?

Entendemos que é a aproximação com a deliberação circunstancial que poderá produzir uma contextualização mais eficaz no ensino de ciências. Não há como prever antecipadamente muito a respeito dos contextos dos estudantes que estarão em sala de aula em um determinado espaço-tempo. Como Paulo Freire dizia, a leitura do mundo precede a leitura da palavra, por isso o exercício de contextualização deve prover, análogo à pesquisa vocabular de Freire, contextos “grávidos de mundo”, a partir da leitura de mundo dos grupos com os quais se trabalha (KLEIN, 2017). É tentador pensar que ao advogar por uma educação em ciências que se volte para cada contexto particular estamos negando a possibilidade de que o estudante conheça para além do seu próprio contexto local, isso é, das questões mais amplas da sociedade. Esse pensamento dicotômico em que o local nega o global ou vice-versa é uma invenção de uma racionalidade ocidental, que cria oposições e hierarquiza conhecimentos, civilizações (SANTOS, 2010a). Nesse sentido, buscar a convergência entre o local e o global, entendidos não como opostos, mas como extensões um do outro, pode ser um caminho frutífero para promover discussões sobre ciência potencialmente mais relevantes aos diferentes conjuntos de estudantes. Por exemplo, o agronegócio afeta de formas diferentes as comunidades rurais produtoras de alimentos e urbanas. O aquecimento global afeta de maneiras diferentes o Sul Global e o Norte Global. Mesmo uma tragédia como uma enchente – considerando que seja ela um efeito das mudanças climáticas – possui efeitos, valores e significados diferentes, ocorra ela na zona sul da capital do Rio de Janeiro ou na Baixada Fluminense. Por esse motivo, a contextualização radical, conforme defendida por Lopes (2015a), é uma alternativa que nos empurra em direção ao polo de deliberação circunstancial capaz de ampliar a perspectiva democrática do currículo (LOPES, 2012).

Esse argumento não significa a impossibilidade de proposição de protótipos, como faz Allchin (2011c) em seu artigo, mas a necessidade de sempre apresentar sua contingência. Tornar transparente o destinatário suposto dos textos produzidos, isto é, esclarecer o contexto do qual e para qual se fala, pode dificultar sua captura pelos mecanismos de normatização curricular, pelo *accountability* e a cultura da testagem,

cada vez mais presentes na educação (BIESTA, 2012; MILLER, 2014). É importante também sublinhar a condição de entre-lugar da contextualização. Um exemplo em que se enxerga isso com mais clareza é a contextualização histórica. Esta sempre estará presa a fatos do passado ligados a determinado evento que se deseja estudar na escola, o que, a princípio, moveria esse tipo de contextualização para um polo mais normativo. Isso nos leva a crer que a deliberação circunstancial/contextualização radical tem limites impostos pelo próprio conhecimento sobre o qual se trata. Este é um ponto de tensão que exploraremos nos capítulos seguintes.

2.3.3 Abordagem por semelhança de famílias

O terceiro modelo de NdC a ser abordado possui sua origem também em 2011, com as críticas dos filósofos Gürol Irzik e Robert Nola ao modelo de Lederman e colaboradores. Diferente do modelo de Allchin (2011c) que, embora tenha sido frutífero (a julgar pelo número de citações), gerou um intenso debate (ver Schwartz et al, 2012 e Allchin, 2012) sobre a própria validade do modelo que este propõe, as críticas tecidas por Irzik e Nola (2011; 2014) geraram pouca controvérsia na forma de artigos-resposta no meio acadêmico embora, como Allchin, tenha alcançado sucesso expressivo. É digno de nota ainda o fato de estes artigos de Irzik e Nola terem contribuído para a gestação de outro modelo também amplamente citado nos últimos anos, de Zoubeida Dagher e Sibel Erduran (ver Dagher & Erduran, 2014; Dagher & Erduran, 2016), o qual não analisaremos aqui porque subverteria o escopo definido para análise do capítulo, conforme seção 2.3.

O conjunto de críticas de Irzik e Nola (2011) aos *tenets* de Lederman em alguns pontos vai por caminhos parecidos com os das críticas de Allchin (2011c). Entre seus argumentos, Irzik e Nola destacam a incoerência existente entre algumas das afirmações que compõem a lista consensual e a divisão entre conhecimento científico e práticas de investigação científica, afirmando que essa divisão é artificial e exclui uma parte importante do que consideramos ser a ciência. Além disso, afirmam que a caracterização da ciência proposta pela lista consensual peca por ser excessivamente monolítica e estreita do empreendimento científico, e por desconsiderar as diferenças significativas existentes entre determinadas disciplinas científicas e mesmo entre tradições disciplinares dentro de uma mesma ciência. Feitas estas críticas, os autores intentam propor uma “visão que não tenha as limitações e fragilidades da visão

consensual" (IRZIK; NOLA, 2011: 593). Buscam, portanto, fixar uma nova imagem para o empreendimento científico que represente melhor a realidade da ciência do que a lista consensual. Apresentaremos a seguir, os principais aspectos do modelo proposto pelos filósofos.

O principal argumento de Irzik e Nola (2011) é de que o empreendimento científico é muito mais plural do que a lista consensual consegue representar. Por esse motivo, usam a ideia de semelhança de famílias do filósofo Ludwig Wittgenstein para construir a abordagem que ficou conhecida ulteriormente por FRA to NOS, na tradução, Abordagem por Semelhança de Famílias para a NdC. Essa abordagem, segundo os autores, proporcionaria uma compreensão mais próxima do que se faz nas diversas ciências. Começando por apresentar as principais características do pensamento de Wittgenstein, Irzik e Nola chegam à aplicação deste pensamento à descrição da ciência, baseada não no que as ciências todas têm em comum, mas em suas similaridades e diferenças. No artigo de 2011 (IRZIK; NOLA, 2011), os autores propõem 4 categorias a partir das quais as diferentes disciplinas científicas poderiam ser agrupadas. São elas: (1) atividades, (2) objetivos e valores; (3) metodologias e regras metodológicas; (4) produtos. Para exemplificar, os autores destacam que a astronomia é uma ciência na qual atividades de observação são importantes, ao passo que paleontólogos usam mais a capacidade de reconhecer e classificar fósseis no meio de sedimentos e não utilizam a observação da forma que os astrônomos fazem. Em compensação, botânicos performariam atividades de reconhecimento e classificação, o que os colocaria num grupo de semelhança junto dos paleontólogos mas longe dos astrônomos, por exemplo. Não descreveremos a fundo a proposta de Irzik e Nola (2011) pois em artigo de 2014 (IRZIK; NOLA, 2014) os autores expandem a análise feita em 2011, adicionando novas dimensões à sua proposta de semelhança de famílias. Sendo assim, resumimos no quadro a seguir a proposta conceitual dos autores para descrição da NdC para a educação científica[38].

				Descrição Suscinta
Ciência	Ciência como um sistema	1	Processos de investigação	Inclui a formulação de problemas, fazer observações, coleta e classificação de dados, formular hipóteses, modelos e teorias, etc.

[38] Este quadro é uma expansão do quadro proposto por Irzik e Nola (2014: p. 1009), em que acrescentamos uma súmula da discussão de cada um dos aspectos tabulados, conforme informações do próprio artigo.

	cognitivo-epistêmico	2	Objetivos e valores	Exemplos são: preditibilidade, explanações, consistência, simplicidade, viabilidade, testabilidade e corroboração, aproximação à verdade, adequação empírica.
		3	Métodos e regras metodológicas	Pensamentos dedutivos, indutivos e abdutivos, hipotético-dedutivo, estatísticos, entre outros. Embora apontem regras metodológicas e métodos, os autores ressalvam que na prática científica real, às vezes cientistas "descumprem" estes imperativos metodológicos.
		4	Conhecimento Científico	Produto final da aplicação dos métodos e regras metodológicas, compostos de leis, teorias, modelos e coleções de relatórios de observação e dados empíricos.
	Ciência como um sistema social	5	Atividades profissionais	Participação em congressos, leitura, escrita e revisão de artigos para publicação, obtenção de financiamento para pesquisa, realização de consultoria, divulgação científica, entre outros.
		6	Ethos científico	Diz respeito a certas atitudes que são esperadas dos cientistas ao conduzir suas pesquisas e no contato com os demais cientistas. Alguns exemplos, tomados das normas mertonianas (mas não exclusivos): universalismo, ceticismo organizado, análise desinteressada, honestidade intelectual, liberdade, entre outros.
		7	Certificação social e disseminação de conhecimento científico	Processo pelo qual as pesquisas são avaliadas por pares, validadas, e tornam-se públicas (são publicadas) e disponíveis ao escrutínio da comunidade de especialistas.
		8	Valores sociais	Tratam-se de valores como respeito ao meio ambiente, utilidade social da pesquisa e

				liberdade para conduzir a pesquisa de modo independente.

Quadro 1: Resumo das características da proposta Family Resemblance Approach (IRZIK; NOLA, 2014). Fonte: o autor.

Ao analisarmos a proposta de Irzik e Nola a partir de um viés educacional, percebemos a quase ausência de menções a questões como por quê ensinar ciências e considerações educativas de uma maneira geral. Diferente de Allchin (2011c), que postula um objetivo geral para a educação em ciências – analisado anteriormente –, não é possível notar no modelo dos filósofos qualquer menção a um ideal ou perspectiva educacional que norteie a construção da proposta. O que existem de considerações educacionais vêm (tanto no artigo de 2011 como no de 2014) após a discussão filosófica, à guisa de sugestão de aplicações na sala de aula. Esta ausência/presença, se analisada a partir das considerações da teoria curricular, reforçam dois aspectos. O primeiro, novamente, refere-se ao caráter normativo da proposta. Conforme ressaltamos no início da seção, o objetivo dos autores é criar uma imagem de ciência mais fidedigna que a visão consensual, com o objetivo de transpor esse conhecimento "verdadeiro" sobre a ciência a qualquer contexto de ensino, incorrendo assim como os demais modelos na perspectiva da via de mão única para a produção e utilização dos conhecimentos de NdC. Outro aspecto é o viés de produção do modelo de NdC a partir do "melhor conhecimento" decidido por experts, o que, juntamente com o caráter mais normativo coloca esse modelo de NdC próximo das perspectivas tylerianas e bobbitianas de currículo.

Ademais, conforme notado por Alsop e Gardner (2017), ao insistir na demarcação e no traçar de fronteiras para delimitar o conhecimento científico, Irzik & Nola (2011; 2014) vão contra um princípio-chave de Wittgenstein, que seria perceber as diferentes disciplinas científicas e mesmo a ciência e a não-ciência, ou a ciência e demais disciplinas não-científicas (história, literatura) desde um ponto de vista relacional em vez de demarcatório. A formulação de algumas questões pelos autores passíveis de serem usadas em sala de aula, a partir de uma abordagem seguindo o modelo da semelhança de famílias apresenta problemas parecidos com os que Allchin (2011c) levanta em relação à lista consensual, isto é, o alto grau de abstração de algumas proposições de tais modelos. No caso da abordagem por semelhança de famílias, tais proposições aparecem na forma de questões que podem ser direcionadas em sala de aula, por exemplo "qual o objetivo de fazer um experimento e como isso se relaciona

com a teoria?" (IRZIK; NOLA, 2011: 603) ou ainda "como a observação se diferencia da experimentação?", que muito se assemelham às questões do VNOS-C, analisado por Allchin (2011c). Um elemento que está presente nos outros dois modelos mas não aparece no modelo de Irzik e Nola é um protocolo voltado à avaliação, como as várias versões do VNOS, no caso da visão consensual, e o modelo KNOWS, proposto por Allchin. Entretanto, conforme apontamos, olhado à luz da teoria de currículo, há mais elementos que aproximam esse modelo dos demais do que os afasta, especialmente no que diz respeito a seu caráter normativo.

2.4 Questões para o futuro (e para o presente)

O primeiro aspecto a considerar é que a análise curricular que empreendemos nesse capítulo, buscando fazer inferências a respeito de que fragmentos de teorias curriculares determinados registros se aproximam ou se afastam e quais as consequências disso para o campo do ensino sobre as ciências, revela alguns aspectos importantes desses "modelos" de NdC. O aspecto histórico da análise permite perceber que estes modelos surgem em determinados contextos educacionais que, se não justificam completamente (no sentido direto de causa -> efeito) a maneira como esses modelos se conformam, ao menos ajudam a entender alguns aspectos dessa formação, de um ponto de vista histórico. Isto é dizer que na construção dos *tenets* havia um conjunto de condições históricas de possibilidade para surgimento desses *tenets* nesse formato: projetos grandiosos em educação, um contexto de rivalidade geopolítica, entre outros fatores que cabem investigação mais criteriosa. Tal ideia já havia sido sugerida por Alsop e Gardner (2017) em seu artigo. As questões que remanescem, em uma análise comparada, seriam: que condições aqui e agora são importantes para pensar a educação sobre as ciências? Que novos formatos, que novas possibilidades podem ser exploradas nesse contexto?

Hoje, por exemplo, vivemos o dilema da pós-verdade na sociedade e na Educação em Ciências, de que falamos no capítulo 1. Ou a questão do modelo de democracia na sociedade que, quando menos esperávamos, começa a dar sinais de desgaste e esgarçamento. Que tipo de discussões sobre a ciência podemos produzir em um contexto como esse? Nesse contexto, a necessidade de definir exatamente onde termina a "Ciência" e onde começa a pseudociência talvez não seja tão urgente quanto saber identificar quando um discurso se utiliza de uma roupagem científica para validar

sua autoridade. Afinal, sabemos com clareza (estudantes e professores) o que constrói a autoridade da ciência ou sabemos apenas que ela é sinônimo de autoridade? Hoje, existem determinados discursos circulantes que atribuem à relativização da ciência a proliferação das chamadas *fake news* e pós-verdades. Bruno Latour, um dos nomes mais conhecidos dos *Science Studies*, vem posicionando-se publicamente[39] pela necessidade de defender a ciência e reconstruir sua imagem, não no sentido de outorgar novamente o viés autoritário (de autoridade absoluta / produtora de verdades) à ciência, mas de aprofundar o debate sobre a natureza de suas construções como cultural e socio-historicamente localizadas e inextricavelmente políticas. Concordamos com essa perspectiva. As pessoas não descreditam a ciência porque leram Bruno Latour e deixaram de acreditar no que a ciência produz. Elas desacreditam no que está estabelecido cientificamente porque nunca conseguiram entender de maneira apropriada como a ciência chegou àquelas conclusões. Sendo assim, a fé na ciência fica abalada a cada notícia sobre como a ciência "errou" e, como fé, acaba sendo direcionada a outro objeto. Houvesse uma formação epistemológica adequada, entender-se-ia que a ciência é falível como qualquer outra produção humana. E aplicados critérios para avaliar o nível de corroboração de determinadas afirmações científicas, seria possível entender por qual motivo a ciência continua dando respostas satisfatórias a problemas contemporâneos, por que não dá respostas a outros problemas e por que isso não deveria ser um problema. Se aplicarmos a mesma métrica para avaliar um fato científico e uma *fake news*, por exemplo, é possível afirmar, conforme Latour (LIMA, 2018), que a rede mobilizada para validar o fato científico, o número de pessoas, de instituições, de atores humanos e não humanos, é muito maior que o das fake news. Sendo assim, não deveríamos tentar reestabelecer a autoridade *per se* da ciência, mas sim ser honesto sobre as condições de sua validade. Como consequência dessa atitude, poderíamos destituir discursos que se valem da autoridade científica para se vender como verdade absoluta, vide determinados discursos econômicos.

Allchin (2011a; 2011b; 2011c; 2012) caminha por trilhas parecidas quando propõe o estudo não de características da ciência, mas de suas dimensões de confiabilidade. O que torna a proposta de Allchin (2011a; 2011b; 2011c; 2012) problemática, a nosso juízo, é a sua aderência a um caminho prescritivo-normativo

[39] Kofman, A. Bruno Latour, the Post-Truth Philosopher, Mounts a Defense of Science. **The New York Times**, 2018. Disponível em <https://www.nytimes.com/2018/10/25/magazine/bruno-latour-post-truth-philosopher-science.html>. Acessado em 06 Nov. 2018.

sobre como se deveria abordar a NdC em seus diversos contextos, conforme apontamos acima. Estamos nos opondo aqui à norma não por conta de alguma falha epistemológica ou ontológica que jogue contra a existência dessa norma. Isso significa que a normatividade não é, em nossa opinião, ruim *per se* (se pudéssemos separar essa dimensão ontológica da dimensão prática). Mas o que a torna problemática nesse caso é a sua tendência em ser "capturada" pelos mecanismos do *accountability* na educação e transformada em algo que impediria a reflexão crítica sobre a ciência. Quando o conteúdo epistemológico da ciência se transforma em mais um conteúdo escolar a ser avaliado, a constar nos exames, etc, ele perde a sua potência pois logo torna-se uma preocupação a necessidade de que os estudantes tenham um conhecimento metrificável sobre como se constrói a ciência. Dentro dessa perspectiva, torna-se temerário, por exemplo, que um aluno saia da escola sem definições sobre a diferença entre leis e teorias, ou sobre o papel dos experimentos em cada ciência. Sendo assim, perde-se a medida de como a ciência afeta a vida de cada grupo particular de estudantes, conforme Barton (1998) alerta. Será que estudar sobre a ciência significa que um estudante do interior do nordeste brasileiro deve saber sobre as mesmas coisas que um estudante de um bairro nobre de São Paulo? Para tornar a questão menos geográfica, será que um estudante da Rocinha, a maior favela do Brasil, localizada no bairro de São Conrado, Rio de Janeiro, é afetado pela ciência de forma igual a um estudante de um condomínio de luxo, localizado no mesmo bairro de São Conrado? Isso não significa dizer que um deve estudar sobre a ciência e outro possui questões mais urgentes a lidar e por isso precisa de "outra educação", o que poderia ser confundido com um discurso contencionista das classes populares. Ambos devem estudar sobre as características da ciência porque, seja de uma forma ou de outra, a ciência afeta suas vidas. Porém, quando entra em cena a norma, o conhecimento metrificável, fatalmente deixamos de apostar em uma educação sobre ciências que signifique algo para o estudante pobre e também para o rico. A discussão passa a ser, para ambos, sobre algo que será testado ao final, recaindo novamente na questão da cultura da testagem, conforme Miller (2014).

Advogamos, portanto, uma concepção que dê espaço para explorar a ciência e sua construção de formas diferentes conforme cada contexto. Afinal, a demanda do estudo sobre a ciência já está nos documentos curriculares existentes atualmente, sendo assim, qual a vantagem de fixar uma norma? Essa norma garantirá a "aprendizagem" sobre NdC? O quanto queremos aprender sobre ciência?

Observe-se aqui que a crítica não é dirigida aos pesquisadores em Educação em Ciências por produzirem listas consensuais sobre a NdC. Esse tipo de interpretação heurística do conhecimento que procura agrupar, sintetizar, comparar e simplificar conceitos difíceis é algo comum não só na área de Educação em Ciências como em qualquer área do conhecimento. Tomemos como exemplo a leitura de Trizio (2014) sobre a proposição de Rouse (2014) a respeito das práticas científicas. Rouse (2014) afirma que as características que ele delineia não são exaustivas nem absolutas, no entanto Trizio sintetiza esses aspectos em uma pequena lista. Também Allchin (2011c) toma o mesmo rumo ao dizer que suas dimensões de confiabilidade não são exaustivas. A crítica, se endereça, nesse ponto, à tentativa de estabilizar, por meio de documentos curriculares, tal visão sobre os aspectos metacientíficos na Educação em Ciências. Sendo assim, listas, consensos e sínteses podem ter um papel muito importante para discussão na formação de docentes para lidar com aspectos de NdC em sala de aula, se apropriados de forma crítica pelos futuros docentes.

A formação do professor é um ponto fundamental, pra completar o argumento aqui exposto. Defendemos acima que não é desejável que listas de consenso sobre as características da construção da ciência sirvam de modelo para construção curricular nem como prescrição para o trabalho de sala de aula da educação básica. Pode-se questionar, então, como seria desejável o ensino sobre as ciências na escola. Sem a pretensão de esgotar o assunto, entendemos que a premissa fundamental para nossa defesa é que o professor seja entendido como um intelectual crítico (CONTRERAS, 1997). Nesse sentido, o professor deveria estar continuamente nutrindo-se do debate acadêmico (e contribuindo a esse debate) sobre as formas de abordar a NdC para então decidir as formas mais oportunas de abordagem em cada caso. O leitor não deve entender que culpamos o professor caso o ensino sobre a ciência nas escolas não esteja funcionando a contento, mas sim que nos somamos aqui às diversas vozes presentes na literatura educacional que chamam atenção para a necessidade de que as políticas públicas para educação garantam não só as condições de trabalho ao professor – como plano de carreira, tempo adequado para atuar em ensino e pesquisa, condições estruturais nas escolas – mas, também, a liberdade para que o professor possa decidir o melhor para cada contexto escolar ou, mais ainda, o contexto de cada turma a que leciona. Ou seja, além de uma formação epistemológica sólida (da qual esses debates sobre natureza da ciência no ensino de ciências seriam apenas uma parte), há que se garantir a liberdade para ensinar, conforme a pesquisa em políticas educacionais tem enfatizado. A coesão das tradições disciplinares seria garantida,

conforme argumento de Lopes (2015a), pelos diversos outros elementos que constituem a realidade educacional, como o processo de formação inicial, livros didáticos, os próprios documentos curriculares já existentes, entre outros aspectos. Isso reforça, ainda, a necessidade de formar os professores que estejam atentos aos debates sobre teoria curricular (MILLER, 2014) e que, assim, tenham uma visão não ingênua do que se passa em uma escola (MOURA; CAMEL; GUERRA, 2018), em termos ideológicos e de disputas de visões sobre os objetivos da escolarização. Também relacionado a isso, sublinhamos a necessidade de refletir continuamente sobre o porquê de ensinar (sobre) ciências em cada contexto educacional (BIESTA, 2007; 2012; MOURA; GUERRA, 2016a; MARTINS, 2015), o que pode servir como um farol orientador da prática de sala de aula de cada docente.

De uma forma geral, tanto a análise empreendida no capítulo 1 quanto a do capítulo 2 servem ao propósito de contribuir com o movimento de re-conexão do ensino de ciências com o debate sobre sua finalidade, o que, por sua vez, está inserido num debate maior sobre o modelo de sociedade que desejamos. Esse é exatamente o movimento que Biesta (2007; 2012) propõe para a educação, como um todo, em tempos de mensuração. Ao analisar a busca de documentos curriculares por uma educação "eficaz", Biesta nos convida a pensar: "eficaz para quê?". Essa pergunta está intimamente ligada aos princípios que defendemos para sociedade – no caso de Biesta, ele usa esse questionamento para defender princípios democráticos para educação e para a sociedade, de maneira ampla. No nosso caso, ao identificar os mecanismos pelos quais opera a normatividade nos diversos modelos de NdC (Capítulo 2), isso não significa um posicionamento automático contra toda e qualquer normatização educacional. Queremos, com isso, identificar o que essas propostas "possibilitam e viabilizam e o que elas bloqueiam" (p. 77), ou seja, entender o quanto estes modelos bloqueiam ou se aproximam dos princípios de uma sociedade democrática em que se reconheça as trajetórias históricas de subalternização, buscando superá-las, e que perceba potência na convivência democrática com as diferenças. Entendemos, assim, que os modelos que atuam na tentativa de normatizar ainda mais o ambiente educacional (através de testes padronizados e/ou por meio de traços que remetem a perspectivas tecnocráticas de currículo) constrangem o surgimento da diferença na sala de aula e, portanto, a possibilidade de formação de estudantes que, a partir de uma conexão real da ciência que é ensinada com seus próprios contextos (BARTON, 1998), possa ter a percepção de sua possibilidade de agência política no mundo, conforme o terceiro sentido de Chauí (2000).

Entendemos que os modelos analisados se afastam dessa perspectiva na medida que silenciam sobre a pluralidade das ciências (ALSOP; FAWCETT, 2010) já há muito advogada na literatura dos *Science Studies*, insistem na proposição de testes padronizados e na fixação de determinado modelo civilizatório, o “cidadão comum”. Neste caminho, há o apagamento da possibilidade da diferença no currículo, ou ainda, a redução da discussão do conhecimento científico ao caráter demarcatório definido por especialistas, admitindo, então, um currículo que atua em uma via de mão única, como se nas escolas não se produzisse conhecimento, mas apenas se transmitisse um conhecimento prescrito de antemão (LOPES, 2015a). Com isso, a perspectiva da sociologia das ausências, que defendemos no capítulo 1 fica virtualmente impedida, se adotarmos tais frameworks educacionais. Não se trata de adaptar novos modelos de NdC que dêem conta dos apagamentos produzidos pela ciência moderna ocidental, que buscamos resgatar através da sociologia das ausências, mas sim de pensar sem esses modelos. Trata-se de investir em professores epistemologicamente e politicamente empoderados que, cientes do debate curricular (MILLER, 2014) e conscientes sobre as possibilidades da educação na formação da sociedade do presente e do futuro, possam inventar caminhos para a formação epistemológica e política dos estudantes.

3. História das Ciências e a perspectiva das práticas científicas: a defesa de uma História Cultural

Feita a análise sobre os modelos de NdC que estiveram e estão presentes na área de Educação em Ciências em nível internacional, e explorada a relação entre NdC e História das Ciências dentro da área, voltamos agora nossa atenção à História das Ciências propriamente dita. Nesse capítulo[40], exploraremos a historiografia da história das ciências, em particular a vertente da História Cultural das Ciências (HCC), em seus potenciais para a Educação em Ciências. Para isso, faremos uma passagem pelos movimentos de renovação da Historiografia da História das Ciências, desambiguaremos alguns conceitos de práticas científicas e, ao fim, apresentaremos a vertente historiográfica da HCC. O objetivo desse capítulo é construir um arcabouço teórico que sustente o capítulo 4, em que tratamos de um episódio histórico envolvendo a história da química orgânica.

3.1 Movimentos de renovação na Historiografia da Ciência

A Historiografia da História das Ciências[41] é, marcadamente, um campo interdisciplinar. Lilian Martins (2005) aponta que para se fazer História das Ciências, além de conhecer sobre as metodologias da historiografia, é necessário saber sobre a ciência em questão, sobre a história do período estudado, em sentido *lato*, além de ter a clareza de que todo estudo histórico se relaciona com concepções epistemológicas do conhecimento científico. Se assumimos a Historiografia da História das Ciências

[40] A discussão historiográfica do presente capítulo é resultado de uma ampliação do que consta no artigo publicado Moura e Guerra (2016). Alguns argumentos sobre as razões para o ensino de ciências do mesmo artigo foram utilizados no capítulo 1 da presente tese.

[41] Roberto Martins (2004) chama de História [da ciência], a sucessão de fatos em si, independente das formas de registrá-los. Segue, para o autor, que a produção dos historiadores seria a Historiografia e a reflexão sobre essa produção (o que pertenceria ao dito "campo disciplinar" conforme nossa classificação), a meta-historiografia. Helge Kragh (2001), aponta que na prática dos historiadores da ciência, a palavra historiografia possui duplo significado: tanto pode significar a descrição de historiadores profissionais sobre eventos passados quanto pode significar o conjunto de reflexões teóricas sobre a natureza da História, isto é, uma meta-disciplina. Nesse texto, usaremos Historiografia da História da Ciência para referir ao campo disciplinar (com suas teorias, métodos e história) dedicado a narrar (de maneiras diversas) a História da Ciência. Os termos "História da Ciência" e "Historiografia da Ciência", por sua vez, serão utilizados para tratar a produção acadêmica / intelectual dos historiadores da ciência. Os seus análogos que não são acompanhados de alguma referência à ciência, dizem respeito à História Geral. Adotamos, assim, o posicionamento de que não há sentido falar de História da Ciência fora da produção dos historiadores, já que a produção de um fato histórico, para nós, depende da inscrição desse fato em alguma forma inspecionável posteriormente (GEERTZ, 1989), independentemente do suporte onde é feita essa inscrição. Ou seja, não haveria algo como o "fato *in natura*", mas sempre algo que está intermediado pelo trabalho do historiador.

como um campo atravessado por essas diversas disciplinas e entendemos que, assim como a própria historiografia, as demais disciplinas mudam com o tempo, cabe manter atenção a esses movimentos de mudanças no sentido de capturar como elas podem impactar as áreas que trabalham na interface com a História das Ciências, como o Ensino de Ciências na perspectiva aqui defendida. Diversos autores (PESTRE, 1996; VIDEIRA, 2007; DASTON, 2016; PESTRE; ROMERO, 2016) apontam as mudanças ocorridas na historiografia, que impactam diretamente nas linhas de pesquisa em História das Ciências bem como nos tipos de trabalhos produzidos por essa área nas últimas décadas.

Para Videira (2007), os primeiros trabalhos em História das Ciências são parte de uma tradição cientificista da mesma, em que os próprios cientistas buscavam a construção de histórias disciplinares ou (auto)biografias científicas. Aqueles que faziam a História das Ciências eram, em geral, cientistas aposentados ou já com uma longa carreira, de maneira que em seus escritos muitas vezes tinham a pretensão de escrever seu próprio nome na história, ou garantir uma posição de destaque para seus feitos. Ao longo do tempo e principalmente após a publicação da obra "A Estrutura das Revoluções Científicas", de Thomas Kuhn, esse modo de fazer História das Ciências foi se alterando. Segundo Daston (2015), a "caixa de Pandora" aberta pela tese de Kuhn trouxe uma série de novas questões para a historiografia da História das Ciências que, se hoje são consideradas "ponto pacífico", naquele momento foram ideias provocantes para a época. Foi também no contexto da tese de Kuhn que nascem os chamados *Science Studies*.

Segundo Rudolph (2015), os *Science Studies* são uma área do conhecimento devotada a entender a ciência e sua construção bem como sua interação com a sociedade. Embora seja difícil caracterizá-la de forma definitiva enquanto uma área/disciplina clara, pode-se dizer que ela é atravessada em sua constituição por estudos da filosofia, sociologia, história, psicologia, antropologia, entre outros (RUDOLPH, 2015). De fato, se consideramos que um dos principais objetivos do campo dos *Science Studies* é explicar a ciência "tal qual se faz"[42], e lembrando que a ciência é uma construção humana, independente dos posicionamentos a respeito da relação humano-natureza (PESTRE, 1996), os métodos e olhares proporcionados pelas

[42] A referência aqui é ao livro organizado pelo filósofo português Fernando Gil em 1999, de título "A Ciência tal qual se faz", contendo textos de Karin Knorr-Cetina, Lorraine Daston, Peter Galison, Dominique Pestre, Simon Schaffer, Harry Collins, entre outros estudiosos dos *Science Studies*.

humanidades e ciências sociais tornam-se fundamentais para dar cabo dessa tarefa, fazendo com que essa área de estudos seja quase que naturalmente multidisciplinar.

Sobre sua origem, Rudolph (2015) aponta que é possível notar de forma mais clara a constituição desse campo a partir da década de 1960, principalmente com os primeiros estudos de Thomas Kuhn. Pestre (1996) aponta o início dos *Science Studies* para um pouco mais tarde, nas décadas de 1970 e 1980, através dos estudos de Bruno Latour, Harry Collins, Karin Knorr-Cetina, entre outros. Ainda que se discorde de estabelecer Thomas Kuhn como precursor desse movimento, – e, acrescento, seja improdutivo buscar precursores – é inegável o papel de Kuhn como um ator importante no deslocamento dentro da Historiografia da História das Ciências rumo a uma produção que considera de forma mais ampla implicações e explicações sociais e culturais.

Kostas Gavroglu (2007) também entende que das discussões dentro da Historiografia da História das Ciências, que se seguiram ao importante livro de Kuhn, surgiram debates que influenciaram sobremaneira o campo após a década de 60. Se antes de Kuhn, na década de 50, uma crítica forte ao positivismo começou a se estabelecer, após sua obra (junto com outras obras como a de Norwood Russel Hanson, Imre Lakatos e Paul Feyerabend) o debate entre internalismo e externalismo prescreve; em seu lugar, um interesse crescente pela prática cotidiana da ciência começa a tomar forma (GAVROGLU, 2007). Concordando com a centralidade de Thomas Kuhn na reorientação historiográfica dos anos 60, Maia (2013) recorda a palestra do americano proferida em 1985, no XVII Congresso Internacional de História da Ciência e publicada dois anos mais tarde na forma de artigo. Nessa ocasião, Kuhn destacou o crescimento da área, de 1950 a 1985, e a mudança no foco das pesquisas para temas mais contemporâneos (posteriores a 1980), além de um equilíbrio entre dois tipos de historiografia: das ideias e social/institucional, i.e., internalista e externalista, onde antes havia predomínio incontestável do primeiro tipo.

Mesmo que defendamos que foi em torno de Kuhn que os *Science Studies* começaram a florescer, isso não implica dizer que este campo é uma extensão do pensamento do filósofo. Maia (2013) aponta que Kuhn, ao comentar o debate internalismo versus externalismo em 1985, propôs como solução uma complementaridade entre ambos, o que, segundo Maia, valorizaria o próprio trabalho de Kuhn em “A Estrutura das Revoluções Científicas”, já que este trilhou nessa obra o “caminho do meio”, em certo sentido. Para Maia (2013) e Shapin (1992), essa proposição não resolve o problema e nem diminui a tensão entre essas abordagens.

Para Shapin (1992), a polêmica foi acomodada pela comunidade de historiadores da ciência, por um certo "cansaço" (*"[...]a comunidade de História da Ciência está agora realmente bastante entediada com o debate e/i (...)"*, como diz Shapin[43]) a respeito da disputa em tela naquele momento. A proposição de Kuhn estaria, portanto, bem ajustada à falta de disposição da comunidade de historiadores da Ciência em aprofundar o debate, como apontou Shapin (1992). Além disso, Daston (2015) destaca que o livro de Kuhn, de 1962, se juntava a diversos outros títulos que buscavam estabelecer estruturas na área das humanidades e das ciências sociais, como por exemplo as obras "Antropologia Estrutural" (de 1958), de Lévi-Strauss, e "Estruturas Sintáticas" (de 1957), de Noam Chomsky, além de muitos outros. Isso não apenas situa historicamente o trabalho e posicionamentos de Kuhn, como também localiza, em certo sentido, o ponto de partida do que fora desenvolvido dali em diante pela Historiografia da História das Ciências que cresceu em articulação com os *Science Studies*.

Pestre (1996) aponta que uma característica importante dos *Science Studies* em sua gênese foi um novo quadro de referência a respeito do que constituem as práticas científicas. Com isso, a amplificação do entendimento da ciência para além de uma atividade exclusivamente intelectual trouxe consigo novos objetos de investigação, novos recortes e novas questões legítimas a serem investigadas pelos historiadores da ciência, historicizando práticas que até então não costumavam ser consideradas dentro do campo da História das Ciências e desafiando a supremacia de certo gênero de História das Ciências vigente até então. Por exemplo, Bertomeu e Castel (2012) destacam duas dessas práticas que na Historiografia mais recente têm sido tomadas como centro da construção de narrativas em História das Ciências: o ensino das ciências como formadora de gerações de novos cientistas, destacando aí a análise de práticas de ensino e de objetos de ensino como livros-texto e laboratórios. A outra prática é a que gravita em torno dos objetos científicos, como determinados aparatos experimentais; a análise dessas práticas deu origem a toda uma linha historiográfica dos objetos científicos, bastante profícua hoje em congressos de História das Ciências[44].

Pestre (1996) e Videira (2011) apontam alguns espaços acadêmicos, nos quais o debate sobre os *Science Studies* inicialmente circulou: em primeiro lugar, a revista Social Studies of Science foi um espaço que congregou diversos estudiosos do tema,

[43] No original: "(…) the history of science community is now well and truly bored with the e/i debate (…)"
[44] A título de exemplo, os simpósios da comissão de Instrumentos Científicos estiveram entre os mais numerosos do 25º Congresso Internacional de História da Ciência e da Tecnologia, ocorrido no Rio de Janeiro em 2017.

especialmente ingleses. Com o passar dos anos, outras revistas foram incorporadas e serviram de espaço para essas discussões, como a revista Science in Context, e as próprias revistas mais tradicionais da área de História das Ciências, como Studies in History and Philosophy of Science, Isis, History of Science, entre outras. Essas novas abordagens não se restringiram a aspectos sociológicos das práticas científicas, mas agregaram também elementos dos Estudos Culturais sobre a Ciência.

Voltando à Educação em Ciências, Milne (2015) destaca que os Estudos Culturais vêm tendo forte influência sobre esse campo disciplinar, em especial a partir de meados da década de 90, com os importantes trabalhos de Glen Aikenhead e, posteriormente, Joe Kincheloe, para citar apenas alguns nomes. Esta influência, porém, corre em paralelo a um debate a respeito do entendimento das ciências como cultura, o que inclui entender as ciências como internamente heterogêneas (mesmo se pensamos tradições disciplinares), e também como uma cultura em meio a outras possíveis. Esse tipo de interpretação, assevera Milne (2015), foi marcada pelos modelos de cultura como o de Clifford Geertz (1989), que estabelecem limites mais claros para culturas de grupos sociais. Daí seguiam defesas a respeito da integração de conhecimentos, como os conhecimentos indígenas, ao ensino das ciências escolares, promovendo o conhecimento de outras culturas além da científica.

O avanço nas pesquisas fez mudar o entendimento de cultura, bem como o olhar para a ciência enquanto cultura. Hoje, os construtos teóricos para falar de cultura são mais cuidadosos em definir contornos tão claros para a cultura de grupos sociais, operando com entendimentos como fluidez, deslocamentos e hibridismo (LOPES; MACEDO, 2011). As ciências, por sua vez, a partir de avanços nos estudos em História, Filosofia e Sociologia da Ciência, são entendidas como construtos historicamente e culturalmente situados, sob a ótica desses novos olhares sobre cultura. Sendo assim, as ciências só fazem sentido à luz dessas culturas, sendo produtos e produtores sócio-histórico-culturais (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006; MILNE, 2011) que carregam consigo as marcas da sociedade, sua estrutura social, as representatividades étnicas e de gênero engendradas nessa sociedade, seus signos e significações, entre muitos outros aspectos, cujos rastros estão impressos nos modos de fazer ciência, nas suas práticas mais cotidianas e nas institucionais (MILNE, 2015). Para Milne (2015), podemos, através da ótica dos Estudos Culturais, “examinar criticamente jargões como ‘ciência para todos’, perguntando ‘que ciência? Quem é deixado de fora?’” (p. 247). Retomando Boaventura de Sousa Santos (2010), cabe perceber as linhas abissais que

estão presentes na ciência moderna, evocando uma sociologia das ausências, para entender de forma mais clara quais são as contingências presentes no desenvolvimento desses pensamentos e práticas, ou seja, não apenas a respeito dos atores envolvidos mas, também, como determinadas significações para ciência ganham força frente a outras.

Citando alguns trabalhos na Historiografia da Ciência que são representativos dessas diferentes abordagens, há o trabalho de Peter Galison (1987), intitulado “How Experiments End”, em que o autor estuda a experimentação sobre física de partículas desenvolvida por volta de 1915, com vistas a discutir “como os experimentos terminam”. Segundo Galison, esse tipo de abordagem é muito importante porque

> “[...] direciona a atenção para aquele momento fascinante nas atividades de laboratório quando instrumentação, teoria, cálculo e sociologia se encontram. Para entender como os fechamentos são construídos, nós precisamos estreitar o olhar histórico para identificar argumentos, evidências, habilidades e equipamentos que direcionam pesquisadores a sentirem-se confiantes de que eles têm ouro em suas panelas e não pirita.” (GALISON, 1987; p.1-2)[45]

Nesse sentido, são exploradas fontes diversas e o ir-e-vir constante da experimentação, os dissensos, tergiversações e aspectos sociológicos envolvidos nesse fazer. Outro exemplo é um estudo da historiadora Mary Terrall (2011), no qual são discutidas as observações levadas a cabo no estudo dos mecanismos de reprodução dos sapos por René-Antoine de Réaumur (1683 – 1757). Por meio dessa narrativa histórica, percorremos os caminhos de Réaumur ao fazer os experimentos, ficando evidentes suas pressuposições em várias das intervenções realizadas. Outro ponto relevante a ser destacado é que as principais observações não foram feitas por Réaumur, mas sim por uma de suas empregadas, bem mais hábil do que ele na observação e registro do fenômeno. Na história “oficial” nota-se o apagamento da participação dessa personagem, o que pode levantar discussões sobre as estruturas sociais e científicas daquele momento e local histórico. Um terceiro exemplo é o estudo de Lorraine Daston e Peter Galison (2007) a respeito do desenvolvimento do conceito “objetividade”. Neste livro, os autores desenvolvem uma perspectiva histórica para o conceito, que é comumente pensado como uma categoria transcendental associada à

[45] No original: “(...) it directs attention to that fascinating moment in the activities of the laboratory when instrumentation, experience, theory, calculation, and sociology meet. To understand how endings are constructed, we must narrow our historical gaze in order to identify the arguments, evidence, skills, and hardware that drive the investigators themselves to feel confident that they have gold in their pans, not pyrite.”

ciência moderna. Esse olhar histórico para o conceito objetividade é fundamental para a defesa de que não há nada na ciência que seja a-histórico. Esse tipo de defesa é próprio do que se chama hoje de epistemologia histórica, que tem em Lorraine Daston um de seus principais nomes. Outros exemplos da História das Ciências contemporânea que se nutre das perspectivas dos *Science Studies* abundam na literatura. No caso da História da Química Orgânica, temos o trabalho de Ursula Klein, "*Experiments, Models and Paper Tools*" (2003), em que a autora questiona a ideia de revolução na química orgânica em meados do século XIX, posição sustentada por Alan Rocke (1993). Klein (2003) sustenta, em contrapartida à tese da revolução, a mudança gradual das práticas da Química Orgânica do final do século XVIII até meados do século XIX, que constituem uma nova cultura química, caracterizada por novas práticas e formas de representar o conhecimento químico.

À guisa de síntese, é difícil traçar uma linha que conecte firmemente todos esses estudos, tão plurais em seus métodos, quanto em seus objetivos. Porém, se há algo que parece ficar evidente, é a rejeição de estruturas[46] para falar sobre a ciência e sua história. Klein (2003) desvencilha-se da interpretação tradicional do período histórico estudado, rejeitando o rótulo revolucionário dado por Rocke; Daston e Galison (2007) historicizam a objetividade, considerado por muitos um valor transcendental da ciência; Terrall (2011) lança luz sobre mulheres ocultadas da História das Ciências e Galison (1987) traz a significação da experimentação como um processo de negociação sócio-histórico-cultural. Estes estudos corroboram o ponto de vista de McGuire e Tuchanska (2013) a respeito do abandono de estruturas totalizantes para descrever e explicar a História das Ciências. Nesse sentido, ideias como revoluções, estilos e coletivos de pensamento, entre outras proposições de uma filosofia da ciência estruturalista deixam de desempenhar papel central nas interpretações históricas. Definitivamente, esse não é um caminho "do meio" como propôs Kuhn em 1985, mas sim um empreendimento mais complexo e arriscado para descrever a História das Ciências. Inclusive se, segundo Daston (2015), Kuhn é representativo de uma época, na qual várias publicações buscavam estruturas para descrever o mundo, podemos dizer que o que

[46] O estruturalismo é entendido aqui como descrito por Peters (2000): uma tradição temporalmente localizada na chamada "virada linguística" da filosofia, embora, como corrente de pensamento, registros de sua influência possam ser encontrados antes ou depois. Entre suas principais características, estão a crítica ao sujeito humanista, como indivíduo autônomo; a ideia de auto-regulação, isto é, ser capaz de explicar-se sem recorrer a ideias externas à estrutura; e a ideia de totalidade e unicidade, isso é, a pretensão de que os esquemas criados possam servir de unificação de pensamento nas humanidades e ciências sociais. Em particular, as estruturas, especialmente as linguísticas (em lugar do sujeito) passaram a ser o centro das explicações dadas por essa corrente filosófica, que tem como autores importantes Saussure, Jakobson, Lévi-Strauss, Piaget, Althusser, entre outros.

se segue nos chamados *Science Studies* e na Historiografia da História das Ciências também é representativo da filosofia pós-estruturalista que começa a efervescer principalmente a partir das décadas de 1970 e 1980 (PETERS, 2000), o que nos remete novamente à necessidade de entender as produções humanas de forma contextual.

Isso tudo, entretanto, não significa o abandono de categorias para ajudar no trabalho historiográfico, mas sim o questionamento de estruturas prévias nessa descrição, com os fatos históricos funcionando como peças de um quebra-cabeça, cujo formato geral já se sabe *a priori*. Um exemplo de categoria que tem sido usada pelos historiadores contemporâneos é a ideia de prática científica. Muito embora ainda não haja consenso sobre uma definição a respeito do que se considera a prática científica, Gavroglu (2007) aponta que essa tem sido uma categoria historiográfica bastante útil aos pesquisadores. Na seção a seguir, empreenderemos um esforço para delimitar melhor nosso entendimento sobre o que seja prática científica.

3.2 As Práticas Científicas

Considerando que há um debate em aberto sobre o entendimento a respeito das práticas científicas (ERDURAN, 2015), é importante apontar aqui com quais ideias a esse respeito estamos operando nesse trabalho. Esse aporte será construído a partir da aglutinação de elementos de várias visões a respeito do tema, que entendemos convergir em diversos pontos, considerando o nosso ponto de partida na historiografia e a coerência com a perspectiva do ensino de ciências que defendemos anteriormente.

Dentro desse contexto, Collins (2015) argumenta que após a 2ª Guerra Mundial, houve um processo que elevou o argumento científico e, consequentemente, os cientistas a um patamar de autoridade em relação a outras formas de conhecimento. Se voltamos, porém, a Santos (2010), a autoridade da ciência e sua hegemonia em relação a outros conhecimentos tem raízes mais profundas e antigas, ou se encontram entranhadas no próprio *modus operandi* da ciência moderna. Seja como for, cabe questionar: o que sustenta a autoridade científica? Quais foram os caminhos que sustentam as formas de fazer ciência como temos hoje? Que tipos de práticas são consideradas parte da atividade científica e como elas se relacionam com as demais atividades humanas?

Em um primeiro olhar, as questões postas acima concernem à filosofia e sociologia/antropologia da ciência, compreendendo além da epistemologia, também a

ética, estética, entre outros. Entretanto, se defendemos um ensino de ciências contextualizado, voltado à formação de cidadãos, e, em particular, a abordagem histórica da ciência, certamente essas questões devem reverberar no ensino das ciências. Apesar de todo conhecimento científico ser necessariamente transformado antes de chegar às salas de aula (FORATO, MARTINS, PIETROCOLA, 2011; 2012), entendemos que este tipo de discussão sobre a ciência, por sua complexidade, não pode ser reduzido – em situações de mediação didática – à condução dos estudantes a determinadas visões corretas (ou "não *naïve*") a respeito da prática científica. Até porque não é possível determinar uma lista que dê conta de articular exaustivamente as características a respeito das práticas científicas (FORD, 2015).

Por esse motivo, consideramos que qualquer intervenção pedagógica que pretenda discutir a prática científica deve promover o diálogo, transformando as salas de aula em espaços privilegiados de debate sobre as ciências e suas práticas. Esta postura dialógica adequa-se melhor à consideração de que as práticas científicas não são totalmente passíveis de descrição e desloca o debate da busca pela precisão epistemológica dos modelos de NdC para o desenvolvimento de constructos que sejam coerentes com a complexidade do debate tanto sobre a ideia de prática científica, quanto sobre sua apropriação na educação em ciências. Segundo Alsop e Gardner (2017), essa preocupação com o que efetivamente ocorre ou pode ocorrer na sala de aula tem sido posta de lado no debate sobre a sistematização de ideias sobre a NdC.

Entendendo que é a preocupação com o que se faz e o que se pode fazer em sala de aula que deve orientar a pesquisa em educação em ciências, porém buscando um rigor teórico para informar essa ação, evitando assim um "praticismo ateórico" ou uma "teorização estéril", buscamos aqui articular algumas perspectivas do *practice turn* das ciências sociais e humanas para fomentar uma visão de prática científica que se articule com a perspectiva historiográfica e educacional que aqui advogamos. Antes disso, porém, nos dedicaremos a desambiguar o sentido de prática científica, que vem assumindo significados diferentes na área de Educação em Ciências.

3.2.1 Práticas científicas vs. Práticas científicas

A perspectiva da prática científica, como ideia polissêmica, tem sido absorvida pela área de educação em ciências de maneiras diferentes. O objetivo dessa seção é explorar algumas dessas maneiras e estabelecer semelhanças e diferenças da

perspectiva adotada nessa tese em relação ao encontrado na literatura, especialmente as concepções que têm estado em torno do documento curricular americano, o NGSS, que recentemente ampliou o alcance do termo com sua repercussão.

Muitos autores (DUSCHL; GRANDY, 2013; OSBORNE, 2014; JIMENEZ-ALEIXANDRE; CRUJEIRAS, 2017; KELLY; LICONA, 2018) têm apontado a necessidade de aprofundar o entendimento sobre a ideia de prática científica, que consideram frutífera para a educação em ciências. No entanto, apesar de seus trabalhos apoiarem-se nos chamados *Science Studies*, trazendo autores diversos para a composição de uma visão particular da ideia de prática científica, é possível notar que o trabalho dos historiadores da ciência, que têm suscitado importantes debates no campo, praticamente não figura nas apropriações feitas por estes autores ao discutir a temática. A título de exemplo, a perspectiva trazida por Duschl e Grandy (2013) baseia-se em grande parte em autores cognitivistas ou filósofos da ciência do chamado *naturalistic turn*, que têm por objetivo justamente combater um suposto relativismo do *historical turn*, iniciado em Kuhn. Talvez por consequência disso, a História das Ciências tenha assumido papel secundário na construção da visão desses autores.

Se podemos resumir de forma bastante sucinta o que está presente na proposta das práticas científicas que é defendida pelos autores, podemos tomar de Jimenez-Aleixandre e Crujeiras (2017) as oito práticas científicas (tradução nossa) propostas no documento curricular produzido pelo National Research Council (NRC, 2012):

- Formular questões e delimitar problemas
- Desenvolver e usar modelos
- Planejar e conduzir investigações
- Analisar e interpretar dados
- Utilizar-se do pensamento matemático e computacional
- Construir explicações e delinear soluções
- Produzir argumentos com base em evidências
- Obter, avaliar e comunicar informações

Observa-se um caráter bastante coerente com o cognitivismo advogado pelos autores que se alinham a essa proposta. Em que pese o fato de a proposta não se reduzir às oito proposições acima, fica evidente a falta de menção à ciência como

atividade sócio-institucional ou ainda outros aspectos geralmente presentes nos diversos estudos produzidos pelos historiadores, filósofos e sociólogos da ciência em que os autores se baseiam. Não advogamos assim que a simples presença desses aspectos em uma lista a ser tomada como base para atividades pedagógicas poderia garantir tanto a compreensão da ciência de forma mais complexa e social/culturalmente imbricadas, tampouco sua apropriação nas atividades propostas com base nessas ideias. Porém, se os autores da proposta consideram que “há uma estrutura implícita para a atividade científica” (OSBORNE, 2014; p. 181), e, partindo disso, pretendem fixar um certo conjunto de proposições para caracterizar a ciência e normatizar seu estudo educacional, é notório que tais aspectos tenham sido deixados de lado nessa caracterização. Tais faltas também são destacadas por McComas e Nouri (2016) em análise mais aprofundada do documento NGSS, que serve de base para os trabalhos citados.

A intenção nesse espaço não é construir uma crítica aprofundada aos trabalhos que lidam com a prática científica na literatura de Educação em Ciências mas sim destacar características dos mesmos no sentido de traçar diálogos e assim evitar possíveis confusões entre a perspectiva por eles advogada e a que construímos aqui neste trabalho. Sendo assim, duas características que nos parece importante destacar para esse objetivo são a fundamentação mais associada ao *naturalistic turn*, e a importância das bases cognitivas tanto da ciência quanto da educação em ciências. Isso leva a uma preocupação bastante grande com a aprendizagem dos estudantes, como notam Rocha e Gurgel (2017), e a consequente reificação dos conteúdos epistêmicos elencados acima. Allchin (2011) e Matthews (2012) já alertavam para esse perigo, de transformar algo que deveria ser uma capacidade de “avaliar a confiabilidade das afirmações científicas” (ALLCHIN, 2011: 521) em novos conteúdos a serem aprendidos, – ou, muitas vezes, memorizados.

Nossa proposta, para evitar a reificação dos conteúdos ou habilidades, é desenvolver em sala de aula um ambiente para convivência com a diferença, o que implica prover oportunidade aos alunos de participar de atividades em que possam engajar-se em debates sobre a ciência. Sendo assim, a preocupação sobre a quantificação do aprendizado sobre a ciência seria secundária, dando lugar a uma avaliação sobre o quanto os alunos se engajaram em tais debates e o teor de sua participação. Essa visão decorre do princípio de que é difícil (senão impossível) aferir o quanto conteúdos epistemológicos (e políticos) foram aprendidos ou apreendidos pelos

estudantes. Com frequência, essa avaliação se estabelece no nível declarativo ou normativo em relação aos aspectos da ciência que se pretende trabalhar. Isso é, parece-nos difícil fugir de uma avaliação em que se analisa apenas o que os estudantes manifestam sobre a ciência em um dado tipo de questão e não qual a imagem de ciência que o estudante, de fato, possui (se assumimos que há homogeneidade, clareza e absoluta coerência em seu pensamento sobre a ciência). Além disso, estabelecer uma avaliação do tipo certo-errado (ainda que com gradações entre esses dois níveis) significa que se está adotando determinada imagem para a construção da ciência, que seria a versão correta, e a partir da qual são avaliadas as percepções dos estudantes. Sendo o problema da demarcação uma questão em aberto, torna-se uma contradição adotar esse tipo de postura na educação sobre as ciências.

A defesa de um ensino sobre as ciências como o aqui descrito não significa uma negação total dos princípios defendidos por Duschl e Grandy (2013), Jimenez-Aleixandre e Crujeiras (2017) e demais autores. Endossamos, por exemplo, a necessidade de produzir atividades que estimulem o engajamento dos estudantes em nível não apenas discursivo, mas também atividades “hands-on”, ou com utilização de tecnologias, entre outras. Nesse sentido, ainda, a análise de argumentos[47] pode vir a ser uma ferramenta (seja na pesquisa em educação ou na prática pedagógica) importante na avaliação dos estudantes, no sentido de perceber qualitativamente o conteúdo desses argumentos, mas não de aferir o quanto um estudante se apropriou de algo tão escorregadio quanto “habilidade de avaliação crítica à ciência”.

Feita essa observação a respeito do que tem sido proposto na área de educação em ciências a respeito da prática científica, retornamos aos estudos historiográficos e aos *Science Studies* para construir a visão que se utilizará nesse trabalho.

3.2.2 Algumas considerações sobre o conceito de prática científica

Desenvolvimentos recentes nas ciências humanas e sociais alçaram a ideia de “prática” ao mesmo patamar de outras categorias da área, mais comuns em outras épocas – mas ainda utilizadas hoje – para explicar as ordens sociais, como por exemplo “estruturas”, “sistemas”, “significado”, entre outras (SCHATZKI, 2005). O conceito de

[47] Há diversos construtos teórico-metodológicos para trabalhar com análise de argumentos na educação em ciências. Para uma revisão, consultar Mendonça e Justi (2013).

prática abarca uma miríade de significados diversos, segundo autores com diversas tendências teóricas, mas que estão unidos pela perspectiva de se pensar a ação humana (e para algumas correntes, a não-humana) como uma matriz de atividades. Em algumas variações considera-se também as habilidades, pressupostos e conhecimentos tácitos associados a essas atividades (*idem*).

Conforme Lynch (2014) aponta para o caso das práticas científicas, esse movimento esteve associado ao deslizamento de um turno normativo para caracterizar as ciências em direção a pretensões mais descritivas, ou seja, que não tinham por objetivo fixar normas gerais para a produção do conhecimento científico. Segundo Collins (2015), os *Science Studies* podem ser caracterizados a partir de três momentos, "Wave One", "Wave Two" e "Wave Three". O primeiro estaria localizado junto com as propostas iniciais de estudo sobre a ciência, e, dessa forma, muito associadas ao positivismo do círculo de Viena e à proposta de demarcação e explicação racional e estruturada da ciência. Como exemplos, Karl Popper, com sua proposta de demarcação baseada na falseabilidade, e Robert Merton, que fala de normas institucionalizadas que proporcionariam conhecimento certificado e com interferência limitada de campos externos, como o conhecimento teológico (LYNCH, 2014). Sendo assim, a ciência nesse caso era pensada como uma instituição excepcional, regida por regras próprias e distintas das demais instâncias da sociedade. Popper, por exemplo, analisa a ciência como um conjunto de proposições lógicas e com pretensões universalistas, como se a própria ciência fosse passível de redução a questões essencialistas relacionadas a linguagem (McGUIRE; TUCHANSKA, 2013).

A "Wave Two" é a segunda fase desse processo, em que há uma tendência mais descritiva do que normativa sobre a ciência (LYNCH, 2014; COLLINS, 2015). Muito de sua motivação nasce de críticas às propostas metodológicas de Popper, como a da segunda fase de Wittgenstein, que dão conta de que a própria linguagem existe nos chamados "jogos de linguagem", então, nem a redução da ciência à linguagem pode eliminar seu caráter social e histórico (McGUIRE; TUCHANSKA, 2013). Fundamental para essa fase é o trabalho de Kuhn pelo alcance que atinge como disparador de uma perspectiva mais sociológica do empreendimento científico, minando as perspectivas anteriores mais racionalistas, na medida em que se propõe a olhar para além dos aspectos meramente lógicos das teorias científicas, estudando os processos sociais que contornam seu estabelecimento. Anos mais tarde, seguem os trabalhos de Bruno Latour, de Harry Collins e outros nomes conhecidos do chamado *practice turn*. É

importante notar que é nesse momento que a História das Ciências se torna importante aliada no processo de análise da construção da ciência, na medida que esquemas racionalistas deixam de ser a perspectiva apriorística dessas análises. Também é importante sublinhar que, como toda categorização desse tipo, a perspectiva das três ondas de Collins é arriscada e não é absoluta e unânime. McGuire e Tuchanska (2013) discordam (ainda que implicitamente) no que respeita à classificação da “Wave Two”, já que consideram que Lakatos, por exemplo, é bastante normativo em sua proposta do programa de pesquisa, ainda que tal proposta seja elaborada no auge da década de 70. Ainda, se buscarmos além de Lakatos, encontraremos outras propostas que não se encaixam no rótulo de meramente descritivas/pouco normativas a que se refere a “Wave Two” de Collins. No entanto, é unânime que depois de Kuhn – o que não significa, necessariamente, “por causa de Kuhn” – houve uma profusão de propostas mais descritivas que normativas, o que alguns caracterizam como *historical turn* da filosofia.

A “Wave Three” parte da percepção de que é necessário harmonizar as duas primeiras ondas, evitando o logicismo e a normatividade absoluta da primeira fase e, também, o puro descritivismo que, segundo a percepção de diversos autores, levou ao dilema dos “aliados errados” (LYNCH, 2014). Segundo Lynch (2014), ao explorar os contextos sociais e arranjos culturais em que a ciência se desenvolveu, se contrapondo ao logicismo da primeira fase, muitos atores políticos com interesses escusos, i.e. que se contraporiam ao bem comum, se utilizaram de afirmações dos *Science Studies* que relativizavam o poder da ciência para promover as chamadas “controvérsias artificialmente mantidas”, isso é, temas da ciência sobre os quais já há um relativo consenso, mas que esses atores políticos, por meio da relativização da ciência querem manter em aberto. Como exemplos, temos as controvérsias relativas às mudanças climáticas e ao evolucionismo/criacionismo. Collins (2015) propõe como solução para esse dilema um retorno a certo normativismo das descrições sobre a produção do conhecimento científico que leve em conta o que aprendemos durante a “Wave Two”. Para isso, Collins aponta que uma saída seria centrar a atenção na *expertise* dos atores envolvidos em tais controvérsias, de modo que pudéssemos retomar parte da confiança na instituição ciência e nos cientistas, que foi minada na “Wave Two”, contudo sem retornar ao elitismo que se apresentava na primeira fase.

Sem entrar no mérito das críticas realizadas não só por Lynch (2014) como por outros autores à proposição de Collins, consideramos importante nos apropriar desse debate sem perder o parâmetro que nos trouxe até aqui: a educação em ciências. Desse

ponto de vista e articulando o nosso referencial teórico-político, entendemos que o ponto nevrálgico da perspectiva trazida por Collins e reforçada por Lynch a partir de seu contraponto, é o enquadramento que é feito a respeito do que entendemos e queremos entender sobre a ciência. Ambos teóricos discutem em torno da autoridade do conhecimento científico e sobre como lidamos com a reafirmação ou flexibilização dessa autoridade.

Em contraposição, ou ao menos no que diz respeito à educação em ciências, entendemos que o debate deve se dar em torno da formação de sujeitos capazes de mapear as condições de produção dos enunciados científicos dentro de seu contexto sócio-histórico-cultural e, assim, ser capaz de analisar criticamente a confiabilidade das afirmações científicas. Reestabelecer a confiabilidade da instituição ciência leva-nos novamente, no limite, à situação em que as pessoas devem acreditar nas afirmações científicas "porque são oriundas da ciência", o que confronta diretamente uma das principais lições da "Wave Two", i.e., perceber que a ciência está ligada a questões políticas e que, portanto, não deve ser analisada como um "agente neutro", politicamente falando. Isso significa que o foco, ao tratarmos das práticas científicas, não deve ser o reestabelecimento da confiabilidade das ciências, mas sim a preparação de cidadãos para analisar criticamente suas afirmações. Ou seja, retornamos às questões levantadas por Alsop e Gardner (2017): não é frutífero aprofundarmos os debates sobre imagens supostamente cada vez mais acuradas sobre o empreendimento científico, se não aprofundarmos, em paralelo, os saberes sobre como se faz/como fazer e o que se faz/o que fazer em sala de aula com esse conhecimento.

Além disso, o combate à pós-verdade[48], que entendemos ser hoje um dos objetivos importantes para a educação em ciências, não deve ser encaminhado por meio da restauração da autoridade científica pura e simplesmente, mas sim por meio da discussão sobre o seu caráter de construção histórico-cultural, pleno de debates e controvérsias, como os demais conhecimentos humanos. A propósito, o próprio escrutínio descritivo deveria ser aplicado aos negacionistas climáticos, defensores da terra plana, entre outros: quem são esses atores? Quais são seus objetivos? Quem os financia e como se alinham institucionalmente? Quais são suas tendências e princípios ideológicos? Assim, seria possível perceber que devemos confiar na ciência não por

[48] Pós-verdade é uma expressão cujo significado denota circunstâncias nas quais os fatos objetivos são menos influentes em formar a opinião pública do que apelos à emoção e às crenças pessoais (OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2016). Ela foi eleita a palavra do ano 2016 em um contexto no qual, diz-se, tais pós-verdades influenciaram diversas decisões políticas importantes, como a eleição de Donald Trump nos EUA e a saída do Reino Unido da União Européia (o "Brexit").

conta da sua autoridade ou porque há um conjunto de regras próprias que garantem sua superioridade, mas sim porque é um conhecimento que se mostrou útil ao longo da história, resolvendo muitos problemas de diversos grupos sociais, embora não tenha resolvido outros. Sendo assim, reenquadramos o problema em torno da utilidade desse conhecimento em vez de sua verossimilhança, nos termos de Eijck e Roth (2007), e ainda recuperando a intencionalidade dos conhecimentos, conforme Santos (1987/2008). Tomando como referência a perspectiva de Eijck e Roth (2007), afirmar a superioridade da ciência ou de seus atores mesmo com base no argumento da *expertise*, conforme proposto por Collins (LYNCH, 2014), nos parece ser inadequado à educação em ciências, uma vez que criar-se-iam, assim, atores epistemologicamente privilegiados nos quais dever-se-ia acreditar por serem quem são. Somados ao dilema sobre como decidir quem são os detentores da expertise, esta ideia pode ser inclusive utilizada pelos “aliados errados” na propagação de pós-verdades.

Desta feita, defendemos que o *descriptive turn* dos *Science Studies* parece ser adequado a uma educação em ciências a qual defendemos aqui, que tem o objetivo de debater a ciência sem a pretensão de fixar uma imagem para ela, mas sim de formar sujeitos capazes de avaliar criticamente as afirmativas científicas, entendendo-as como permeadas por ideologia, intencionalidade e relacionadas a um determinado contexto histórico-cultural, como as demais produções humanas. Esta perspectiva abre caminho para um ensino histórico das ciências menos dogmático e mais afeito à *ecologia de saberes*, proposta por Santos (2008), na medida que combate o pensamento absolutista da ciência como verdade. Essa aproximação é importante se entendemos que a ciência moderna europeia foi fundada a partir de diversos epistemicídios, da supressão de pensamentos e cosmogonias alternativas (SANTOS; MENESES, 2010). A ciência moderna europeia não tem um valor em si mesma, porém é útil e manterá sua utilidade na medida que estiver a serviço do bem comum e do equilíbrio do planeta. Retomar o sentido demarcacionista da ciência europeia seria reproduzir sua característica histórica epistemicida de eliminar o diferente, ao passo que reafirmar seu caráter de construção histórica, por meio de uma abordagem descritiva, pode auxiliar na discussão explícita da diferença entre esse conhecimento e de sua utilidade, frente a outros conhecimentos e suas outras utilidades, além de esclarecer as ideologias, interesses e relações institucionais por trás desses conhecimentos.

Contudo, abandonar as estruturas normativas em favor de uma perspectiva mais descritiva não significa o abandono de categorias, nem a destruição da ciência, como

afirmado anteriormente. Tendo isso em conta, a seguir, traçamos algumas características das práticas científicas, a partir da literatura dos *Science Studies* e da historiografia, que podem ser úteis na análise de episódios históricos com vistas a sua utilização na educação em ciências.

3.2.3 Características da prática científica

O primeiro ponto importante a destacar no caso das práticas científicas é que nem toda ação de um cientista enquanto faz ciência está circunscrita dentro do que classificamos como práticas científicas. Conforme Schatzi (2001) coloca, há certo consenso entre os teóricos da prática que para ser considerada uma prática, é necessário haver habilidades e entendimentos compartilhados. É através desse conhecimento compartilhado que as práticas se mantêm vivas e podem mudar ao longo do tempo. Barnes (2005) concorda, afirmando que as práticas não são como ferramentas dispostas em uma caixa, que são tomadas pelos humanos e "performadas"[49], mas que há uma relação mais profunda a esse respeito. Partindo do pensamento de Stephen Turner, Barnes (2005) entende que falar de práticas significa estar em um entre-lugar de dois extremos, quais sejam: o posicionamento essencialista de que as práticas seriam um conjunto reificado de normas, performadas por humanos; e no outro extremo, que as práticas seriam atos habituais individuais. Para isso, traz a noção de competência e poder. Isto é, as práticas envolveriam um conjunto de indivíduos que estão habilitados a/são competentes para performar determinadas ações, ou seja, detém esse poder e o exercem ao performar a prática.

No caso das práticas científicas, pode-se dizer que elas possuem alguma regularidade e se caracterizam fundamentalmente pelo processo constante de avaliação e crítica das explicações providas pela ciência (FORD, 2015). As práticas científicas enquanto conjuntos amplos de comportamentos e práticas sociais incluem as performances, que são julgadas conforme sua capacidade de se articular com outras performances, para produzir significado e fazer avançar o conhecimento (*op. cit.*). Uma medição feita por um cientista usando um instrumento científico, por exemplo, é uma performance, um exercício de seu poder, que é constituinte de uma prática científica específica. Essa medição produz resultados que, articulados com outros conhecimentos já construídos, resultarão em produção de sentidos novos na ciência. Esse sentido pode

[49] Usamos aqui a ideia de performar como tradução para "to enact" e suas variantes.

ser tanto um resultado novo, quanto a confirmação de resultados obtidos anteriormente. Aqui cabe retomar o raciocínio de Barnes (2005), que assevera que diferente do hábito, uma prática pode ser avaliada como bem ou mal performada, com base em algo que se espera dessa prática. Isso envolve, sem dúvida, um caráter normativo e uma certa reificação dessas práticas, porém é uma “reificação que não machuca”, nas palavras de Barnes (2005: p. 33). Isso porque o caráter normativo/reificador não é o centro do que chamamos aqui de prática científica, mas sim um acordo social que se sustenta durante algum tempo, porém que está sujeito a mudanças.

As práticas científicas não se restringem, portanto, a atividades experimentais. A ciência é trabalho e, como tal, as práticas científicas se assemelham de uma maneira geral a outras práticas laborais. Mody (2015) aponta, por exemplo, que se atentarmos para as habilidades que parecem pertencer a cientistas de sucesso, veremos que muitas delas são específicas do âmbito científico, mas muitas outras, não. Os cientistas buscam financiamento e articulam apoio e parcerias institucionais. Eles leem, escrevem, falam e discutem com seus pares em congressos. Nestes espaços, engajam-se em debates com o objetivo de educar e convencer os demais cientistas e, assim, disseminar suas ideias. Uma ação recorrente das práticas científicas, portanto, é elaborar questões a respeito de argumentos de outros cientistas e construir argumentos para defender suas ideias (MODY, 2015).

Dessa forma, o argumento de Mody (2015) endossa nossa visão de que o estudo das práticas científicas é possível apenas por meio do debate. Além disso, o autor destaca que pesquisas mostram que a ciência conforme é apresentada tradicionalmente aos estudantes – amplamente racional, regrada e orientada a demonstrar o conhecimento sedimentado – é melhor aceita por estudantes homens, heterossexuais e brancos ou, de outra forma, é alienante aos estudantes que não se encaixam nesse perfil. Neste caso, vale lembrar o que defendemos acima: a ciência escolar não deve ser voltada à formação de mini cientistas, mas de pessoas conscientes de seus papéis no mundo. Algumas dessas pessoas podem, eventualmente, tornar-se cientistas. Seja como for – tornando-se cientistas ou não – os estudantes deverão ser capazes de desempenhar diversas atividades em suas carreiras, como ler, lidar com incertezas, expressar argumentos claramente e de forma convincente, persuadir colegas, trabalhar em grupo, submeter suas ideias e as dos colegas à análise e, ainda, aprender novas habilidades (MODY, 2015).

Ao tratar de práticas científicas no ensino das ciências, consideramos que as questões epistêmicas envolvidas no desenvolvimento científico não se dissociam das questões culturais e socioinstitucionais do empreendimento científico (DAGHER; ERDURAN, 2014). Dessa maneira, como vimos anteriormente, as práticas científicas não se restringem a habilidades performáticas, como manipulação de instrumentos e variáveis, interpretação de dados e gráficos, mas à associação entre estas performances e os fatores culturais e socioinstitucionais capazes de produzir significados válidos na comunidade científica. Esta articulação é, por excelência, histórica, uma vez que a cultura e as instituições e seus papéis se modificam ao longo do tempo e do espaço em que são construídas. Considerando as práticas científicas como um conjunto de ações imersas neste espaço-tempo em que as ciências se desenvolvem, concordamos com Pimentel (2007), que essas práticas necessariamente mudam com a história.

Dessa forma, mudam não apenas os problemas a que as ciências se dedicam. Alteram-se, também, as estratégias para responder as perguntas e as formas de expor essas respostas. No caso dos experimentos, por exemplo, é possível notar mudanças materiais (como criação de novas técnicas e instrumentos) alavancando diferentes possibilidades de pesquisa em cada contexto. Em outras palavras, podemos dizer que da interação do cientista com a natureza, outra realidade passa a se apresentar (ROUSE, 2014). Um exemplo foi o avanço da espectroscopia em meados do século XIX. Segundo Jensen (2005), a utilização de queimadores a gás na ciência data da década de 20 do século XIX, quando a iluminação a gás começa a ser utilizada nas grandes cidades da Europa. Isso, por si só, já traz um elemento novo que muda as práticas que passam a ser possíveis e/ou corriqueiras nos laboratórios daquele contexto. Porém, em meados do século XIX, Robert Wilhelm Bunsen (1811 – 1899) em colaboração com Henry Enfield Roscoe (1833 – 1915) propuseram um aparato para queima de gases – o Bico de Bunsen – que, diferentemente dos anteriores, produzia uma chama mais quente, sem cor, livre de fuligem e de tamanho aproximadamente constante (JENSEN, 2005). Tal aparato permitiu um aprofundamento da pesquisa em espectroscopia, suscitando novas questões acerca dos experimentos e novos tipos de performances na prática científica.

Além disso, a comunicação entre os cientistas é algo fundamental para a constituição das ciências. E a comunicação também se altera ao longo do tempo, modificando a própria ciência. Galison (1987) aponta que diferente de muitos anos atrás,

quando por exemplo as cartas desempenhavam importante papel na comunicação entre os cientistas, hoje o e-mail faz as vezes deste tipo de comunicação. Acrescentaríamos ainda a utilização de redes sociais (acadêmicas – como Research Gate, Academia.edu, Edmodo – ou não acadêmicas) e programas de mensageiros instantâneos para plataformas móveis como smartphones. A internet mudou os meios de comunicação e o acesso à informação científica e, sem dúvida, as práticas não são mais as mesmas de décadas passadas. Da mesma forma, mudanças no processo de divulgação da ciência trazem mudanças significativas à mesma.

Por isso, a nosso ver, analisar e explorar as práticas científicas em situações educacionais sem a devida atenção à historicidade dessas práticas, nos faria retornar ao problema do reducionismo da ciência a questões essencialistas, algo presente nas críticas a determinadas visões de NdC (IRZIK; NOLA, 2011; ALLCHIN, 2011c).

Barnes (2005), por meio do exemplo da acumpuntura, aponta características fundamentais das práticas: os seus praticantes fazem parte de um coletivo e, como tal, precisam estar sensíveis ao que os demais praticantes estão fazendo. Isso faz com que eles efetivamente façam parte dessa comunidade, ao mesmo tempo em que permite que tal prática continue se desenvolvendo ao longo do tempo. Assim também os são as práticas científicas: é necessário aprende-las e estar em contato constante com os demais praticantes para que as performances possam produzir significados novos, conforme mencionado no início da seção, o que só tem sentido dentro do coletivo de praticantes, já que estes significados são socialmente validados. A ciência, é, portanto, uma atividade eminentemente coletiva, sendo a característica sócio-institucional enfatizada por Dagher e Erduran (2014), uma das expressões mais emblemáticas disso. Essa característica não é novidade no estudo das práticas científicas. Estudos como o de Daston e Galison (2007) apontam para a necessidade de um treinamento dos praticantes da ciência para a formação do “self científico” e para que possam performar práticas coerentes com os valores coletivos de objetividade, independentemente de quais sejam esses valores.

Sintetizando, a prática científica pode ser entendida como um conjunto de processos de construção, avaliação e crítica das próprias explicações científicas, pelos quais a ciência se constrói. As práticas incluem, mas não se reduzem às performances, isto é, aos atos concretos ou de pensamento que constituem o dia-a-dia do cientista, como medições, análise de dados, etc. Há uma série de outras ações que fazem parte da ciência, mas não apenas dela e sim de outras atividades laborais, como ler, escrever,

falar e debater com pares, construir relações sociais, elaborar argumentos e contra-argumentos para as proposições científicas suas e de outrem. Além da busca por financiamento e formação de redes de pesquisa. Este conjunto de práticas – que busca consensos, mesmo que temporários – está plenamente imerso em relações socioinstitucionais e permeado pela cultura de um determinado espaço-tempo, sem os quais elas não ganham significado e, portanto, não faz sentido seu estudo e análise.

Cabe ressaltar que aqui não procuramos fixar sentidos para as formas de produção da ciência, mas sim destacar seu caráter temporal e mutável. Com isso, pretendemos atender ao chamado de Rouse (2014), sobre a necessidade de mudar a percepção da imagem científica de um corpo de conhecimentos para a ideia de prática científica, ou seja, modos de produzir ciência, que se alteram ao longo do tempo. Com isso, cremos que se torna um pouco mais simples resolver um problema presente em abordagens históricas no ensino de ciências: ao abordar determinado episódio histórico tendo como sul[50] uma imagem específica para o empreendimento científico, há a tendência de fixar aquela imagem à produção científica de qualquer tempo. É como se pudéssemos determinar, a partir de análises de episódios específicos, que a ciência se constrói de determinada forma sempre.

Abordar a ciência a partir da perspectiva das práticas científicas, em contrapartida, permitiria um trânsito mais fácil entre o histórico e o contemporâneo, na medida que o centro da narrativa histórica não mais seria seus personagens, mas sim as práticas, que como tais, podem estar em diálogo com outros períodos históricos. Se, por exemplo, estamos abordando o estabelecimento do que chamamos hoje de Química moderna, a partir da perspectiva de Lavoisier e seus interlocutores, como seria possível traçar um paralelo ao contemporâneo, sendo Lavoisier e seus interlocutores tão singulares de um tempo e espaço específicos? No entanto, se escolhemos como centro da narrativa as práticas performadas por Lavoisier que fazem diferença naquele contexto, como a pesagem de substâncias e a nomenclatura química como elemento central, pode-se mais facilmente estabelecer paralelos entre aquela e outras situações, inclusive a química contemporânea. Não sustentamos, com isso, que tais práticas não são singulares de determinado tempo e espaço, o que seria um contrassenso em relação ao que defendemos anteriormente, mas sim que este “trânsito” entre épocas é

[50] Aqui optamos por trocar a palavra “norte” por “sul” como forma de subverter a colonização linguística, tornando o “Sul” como referência em vez de o Norte. Variações dessa opção serão encontradas ao longo do texto, como o uso de “sulear” em vez de “nortear” e assemelhados. O termo “sulear” já era usado por Paulo Freire de modo explícito desde o livro “Pedagogia da Esperança”, lançada em 1997 (ADAMS, 2017).

facilitado dessa maneira e pode ajudar a evitar a fixação de imagens específicas para o empreendimento científico. Para estabelecer uma analogia que facilite a compreensão da proposta, trata-se de buscar uma História das Ciências que seja narrada na "voz passiva", em que a atenção maior seja dada às práticas e representações, em vez de aos sujeitos. Com isso, além de facilitar o supramencionado trânsito entre histórico e contemporâneo, afasta-se a possibilidade de enxergar o cientista como herói ou enfatizar outras imagens distorcidas já amplamente discutidas na literatura. De toda forma, esse argumento será aprofundado na próxima seção e, principalmente, no capítulo 4.

3.3 A História Cultural das Ciências e suas implicações no ensino

Conforme defendido na seção anterior, a abordagem das práticas científicas na educação em ciências não deve prescindir de reflexões capazes de destacar o caráter temporal dessas práticas. Dessa forma, a história das ciências se mostra uma ferramenta importante a ser considerada. Porém, dada a pluralidade de perspectivas possíveis para a abordagem histórica na educação em ciências, algumas perguntas se colocam: que aporte historiográfico nos permitiria desenvolver as questões levantadas em torno às práticas científicas e ao ensino das ciências? Qual foco para a história das ciências poderia potencializar o trabalho com questões sobre a ciência e discussões sobre práticas científicas? Para propor respostas a estas perguntas, inicialmente apresentamos algumas perspectivas de escrita da História das Ciências que, a nosso ver, não se adéquam à perspectiva que defendemos para o ensino de ciências.

Dessa forma, o primeiro olhar historiográfico que podemos descartar diz respeito à História das Ciências linear, dos "vencedores", que apresenta a ciência como decorrente da obra de cientistas que trabalham isolados do mundo em que vivem, desenvolvendo atividades exclusivamente ligadas a um laboratório, à coleta de plantas, à descoberta de fósseis etc. Tal perspectiva é rechaçada pela chamada Nova Historiografia da Ciência (KRAGH, 2001; PORTO, 2010)[51], preocupada com a abordagem do contexto em que se dá o desenvolvimento da ciência, incluindo

[51] Conquanto esse termo seja bastante utilizado na Educação em Ciências, entendemos que hoje há uma pluralidade de correntes historiográficas que, embora rompam todas com práticas anteriores da Historiografia da História das Ciências (como *whiggismo*, presentismo, etc), não se constituem em uma corrente homogênea que possa ser chamada de "Nova Historiografia da Ciência". Preferível (e faremos deste ponto em diante) seria utilizar "novas historiografias da ciência".

biografias, relações sociais em que são construídas e os diversos aspectos que influenciam e são influenciados pela ciência.

Sendo assim, se tomamos como exemplo o episódio da proposição de novas nomenclaturas para compostos químicos na França em finais do século XVIII, sob a ótica da antiga História das Ciências, poderíamos entender Lavoisier como o grande ator desse processo. Nessa perspectiva, ele é apontado como tendo construído sozinho uma nova nomenclatura para a química, capaz de dissociá-la das práticas dos boticários, dos barbeiros e, também, dos alquimistas, elaborando uma nomenclatura objetiva que fez progredir a química. Antecedendo a essa ideia de Lavoisier, teríamos uma descrição biográfica do filósofo natural, mostrando todos os lugares onde ele estudou, seus interesses, como surgiu a ideia de criar um padrão de nomenclatura para os compostos existentes, etc. Dessa forma, constrói-se uma narrativa triunfalista e centrada em um personagem. Narrativas triunfalistas sobre Lavoisier foram muito utilizadas na primeira metade do século XIX por “químicos historiadores”, que procuravam recuperar fatos isolados do passado para corroborar suas próprias ideias, a exemplo de Adolphe Wurtz (1817 – 1884), que lançando mão de narrativa análoga à descrita acima, defendia que a ciência química era eminentemente francesa. Já Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) usava-a com o propósito de defender a teoria dualista de Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) (MOCCELIN, 2003). Tal perspectiva historiográfica de enaltecimento de determinados feitos com objetivo supostamente de escrever determinados nomes na história, a certa altura, foi bastante utilizada por cientistas-historiadores (VIDEIRA, 2007).

Outra possibilidade de (re)construção da história sobre Lavoisier seria negar a ideia triunfalista explícita sobre o filósofo natural, centrando a análise histórica na sua produção acadêmica, de forma a destacar os caminhos seguidos pelo autor para construir a nova nomenclatura. Dessa forma, o olhar estaria voltado, exclusivamente, para seus trabalhos publicados e para as cartas trocadas entre Lavoisier e outros filósofos naturais da época. A análise histórica estaria, assim, restrita às questões epistêmicas envolvidas no trabalho de Lavoisier, destacando suas teses, teorias e experimentos, sem privilegiar aspectos do contexto sociocultural em que essa produção científica ocorreu.

No debate sobre as formas de narrar a História das Ciências, é importante considerar questões advindas da filosofia da ciência que emergem com as críticas às proposições do empirismo lógico. O empirismo lógico, no início do século XX, defendia

ser a ciência um conhecimento construído exclusivamente com base na empiria e no formalismo lógico, sem atenção para questões relativas a crenças e valores dos cientistas, ou seja, do que consideravam o subjetivismo (MARCONDES, 2007). Os enunciados científicos deveriam ser lógicos e formais, sendo a matemática a linguagem universal, por excelência, da ciência. Para os empiristas lógicos, no estudo do processo de construção e validação do conhecimento científico, a sociedade em que os cientistas estavam imersos não era uma variável importante a ser considerada (op. cit.).

Na crítica estabelecida ao empirismo lógico, muitos filósofos da ciência, como Imre Lakatos (1922 – 1974) e Thomas Kuhn (1922 – 1966), consideraram que o pensar sobre a ciência não poderia ser desvinculado do contexto social de sua produção (McGUIRE; TUCHANSKA, 2013). A construção desse olhar para o empreendimento científico esteve vinculada ao estabelecimento de uma visão universalista do processo de construção da ciência. Nesse sentido, esses filósofos construíram análises gerais sobre a ciência, que encaminhavam diferentes explicações estruturais de como o conhecimento científico foi e é construído. No caminho de estabelecimento dessas estruturas, a História das Ciências foi recorrentemente usada como um aporte capaz de sustentar as estruturas construídas (McGUIRE; TUCHANSKA, 2013).

Ainda usando o exemplo de Lavoisier, é possível a rotulação de determinados episódios sob a égide de uma ou outra matriz teórica. Os avanços produzidos por Lavoisier na química do século XVIII são frequentemente referidos como sendo uma “Revolução Química”, no sentido kuhniano. Autores (JENSEN, 1998; CHAMIZO, 2014) argumentam, inclusive que esta não seria a única revolução pela qual passou a química, mas sim que podemos apontar pelo menos três períodos revolucionários na história dessa ciência. Segundo interpretações num viés kuhniano, há a construção, por Lavoisier, de um novo paradigma, que é incomensurável ao anterior. E sua incomensurabilidade é “medida” especialmente através da diferença conceitual entre a teoria pré-revolucionária e a pós-revolucionária. Como defende Filgueiras (1995), ao falar das descrições de Stahl e Lavoisier sobre os processos de calcinação e combustão: “Vê-se [...] o enorme fosso conceitual que separa os dois sistemas, envolvendo a noção de substâncias elementares e compostas. Uma mudança conceitual, seria, na linguagem de Kuhn, uma mudança de paradigma”. Ou seja, para chegar a esta conclusão, uma análise documental de publicações de Lavoisier parece ter bastado. Em outras publicações, que seguem o viés aqui descrito, é possível notar que se ultrapassa a visão meramente conceitual, incluindo fatores sociais e técnicos,

mas que terminam por corroborar a robustez das estruturas conceituais para explicar o empreendimento científico, criadas por filósofos como Kuhn e seus contemporâneos.

Em outra perspectiva, historiadores da ciência do final do século XX buscaram construir estudos cuja intenção não fosse criar ou corroborar estruturas conceituais sobre “o que é” ou “o que deve ser” a ciência, mas sim descrever a dinâmica do processo de construção do conhecimento científico. Nesse caminho, encontramos estudos sobre a História das Ciências que dedicam atenção especial tanto às práticas científicas, quanto às formas de representação do conhecimento científico desenvolvidas em determinado contexto, entendendo que esses estudos revelam questões fundamentais sobre a ciência ali desenvolvida (KLEIN, 2003; GALISON, 2010; DASTON, 2008). Essa vertente historiográfica denominada História Cultural das Ciências, encontra-se alicerçada na Nova História Cultural (BURKE, 2008).

A Nova História Cultural concentra sua atenção nas práticas cotidianas, buscando narrativas que destaquem padrões culturais de determinada época. Assim, é comum encontrarmos nessa vertente análises historiográficas focadas na história de hábitos, como os modos de sentar à mesa ou a história de objetos, como o garfo e o lenço. Por meio de tais análises, historiadores como Norbert Elias (1897 – 1990) analisam o processo civilizatório ou ainda a história de culturas populares (BURKE, 2008). A Nova História Cultural se opõe à história das ideias, ou seja, a história que busca visões gerais para explicar determinado contexto histórico é substituída por uma história que pretende articular o fazer cotidiano a temas mais gerais sobre a cultura e a sociedade, ou, como colocado por micro-historiadores (uma vertente da história cultural), pretende-se destacar a relação entre a comunidade analisada e o mundo externo a ela (BURKE, 2008).

No caso das ciências, a partir dessa abordagem historiográfica, o foco da análise a ser implementada desloca-se do estudo das grandes ideias e dos cientistas que estabeleceram grandes teorias, para um estudo que considere as ações produzidas pelos diferentes atores da ciência. Incluem-se, então, nesse estudo as práticas em torno aos instrumentos e técnicas usadas nos laboratórios, as práticas desenvolvidas para o registro de dados, as comunicações estabelecidas entre os cientistas para discutir questões e divulgar seus trabalhos, a construção de ferramentas matemáticas de análise, de representação e construção de modelos, entre outras. Tal postura deve levar ao entendimento de como os cientistas disseminam suas ideias, como estabelecem relações sociais e que papel a leitura, a escrita e o discurso desempenham na produção

científica (MODY, 2015). Apesar de essas atividades serem próprias da ciência, são eclipsadas em abordagens que buscam estruturas generalizantes.

Enfim, o foco estaria na análise histórica sobre aspectos culturais e materiais do desenvolvimento das ciências (KLEIN, 2003). Valoriza-se, nesse caminho, o intercâmbio entre todos aqueles que direta ou indiretamente participaram da construção do conhecimento científico estudado (GALISON, 1987; 2010). Uma abordagem desse tipo, ao trazer considerações sobre práticas científicas cotidianas daquele contexto, pretende não desvincular as questões epistemológicas estudadas do contexto sociocultural de sua produção e seu estabelecimento.

Segundo Pimentel (2010), na perspectiva da História Cultural das Ciências, a ciência moderna é percebida como uma

> "(...) atividade submetida a uma série de contingências sociais e materiais e também deixava de estar fixada à palavra escrita e à teoria. Deixava de ser exclusivamente uma história textual ou livresca, para converter-se também na história de como se realizou tal ou qual experimento e como se replicou em outro espaço e outro momento, sob outras circunstâncias" (p. 420)[52]

Ao analisar o processo de estabelecimento da ciência moderna à luz da abordagem cultural da História das Ciências, Pimentel (2007) o faz a partir dos símbolos e, principalmente, das práticas científicas que se estabeleceram nesse período, classificado pelos que adotam o viés kunhiano como "Revolução Científica". Nesse sentido, ficam evidentes não os personagens centrais dessa história, mas instrumentos como o microscópio e a luneta e práticas como a da dissecação e a observação do céu. Nessa vertente historiográfica, essas são questões fundamentais para se compreender o processo de mudança nas estruturas científicas que ocorreram naquele momento.

Pimentel (2007) aponta como fundamentais no processo que se denomina como Revolução Científica o alargamento de horizontes do conhecimento humanos em três direções. No que diz respeito ao corpo humano, os microscópios e a prática de dissecção de corpos ganham grandes proporções e acabam por mudar a forma de fazer medicina e estudar o corpo humano naquele momento. Os médicos, pouco a pouco, vão assumindo funções, como a de cortar tecidos humanos, que antes eram realizadas pelos barbeiros, especialistas no estancamento do sangue. Em uma segunda frente, a

[52] No original: "(…) actividad sometida a una serie de contingencias sociales y materiales. Y también dejaba de estar fijada a la palabra escrita y la teoría. Dejaba de ser exclusivamente una historia textual o libresca para convertirse también en la historia de cómo se realizó tal o cual experimento y cómo se replicó en otro espacio o en otro momento, bajo otras circunstancias."

utilização da luneta marca uma nova era para a astronomia e para a produção de conhecimento sobre o céu e o sistema planetário em que estamos localizados. Por último, as grandes navegações trazem inovação em termos de instrumentos (especialmente os náuticos) e o contato com novas culturas, e registro de novas espécies de plantas e animais, o que acaba por alimentar novos campos de pesquisa.

Todas estas mudanças – que constituem antigos fenômenos observados de outra maneira, ou mesmo novos fenômenos – são embaladas por uma postura resgatada do humanismo clássico: a curiosidade. Durante a Idade Média, a curiosidade era considerada vaidade e pecado; porém, durante o século XVI, este pensamento se reorientou, promovendo uma mudança de postura no que tange à pesquisa sobre o mundo natural (PIMENTEL, 2007).

Juan Pimentel (2007) também aponta novos lugares e formas de fazer ciência que surgem no contexto da denominada Revolução Científica. Os anfiteatros anatômicos, descritos uma das primeiras vezes por Alessandro Benedetti em sua obra de 1502 (Historia Corporis Humanis sive Anatomice), por exemplo, adquirem uma importância tão clara que chegam a ser retratados por Rembrandt em seu famoso quadro “A Lição de Anatomia do Dr. Tulp” (1632). A sua gradual incorporação ao fazer médico pode ser notada pela inclusão de informações sobre estas práticas em tratados médicos do século XVI. Os jardins botânicos das Universidades, também, surgem no século XVI e guardam, para estudo, em seu acervo diversas novas espécies obtidas através do processo de expansão marítima europeia, iniciado no século anterior. Os gabinetes de curiosidades, mantidos por colecionistas, expressavam “a confluência entre as ideias e a cultura material” (PIMENTEL, 2007, p. 220) ao se constituírem em repositórios de objetos de arte, mobiliários, produtos e seres de origem natural.

Pimentel (2007) traz ainda a importância do papel das academias científicas no estabelecimento de uma comunidade científica que conduziu a produção de ciência por um fazer sistemático e, principalmente, coletivo e social. O laboratório, as publicações e imagens científicas, e outras diversas práticas e artefatos, que hoje associamos diretamente ao fazer científico, têm origem neste contexto da chamada Revolução Científica. Com isso, o autor sustenta que mais que uma brusca ruptura explicada por episódios pontuais centrados em Nicolau Copérnico ou Galileu Galilei, a construção da ciência moderna se dá de forma gradual e, principalmente, no campo das práticas, embora seja evidente a importante contribuição individual e mesmo a reelaboração conceitual que uma história das ideias poderia trazer para este cenário.

Como afirmado anteriormente, a História Cultural das Ciências, desenvolvida por autores como Pimentel, não sustenta posições totalizantes sobre como foi ou é desenvolvido o empreendimento científico. Em sua análise, há espaço para a história das ações individuais ou coletivas daqueles “atores” materiais – como instrumentos e os próprios cientistas – e não-materiais – espaços como laboratórios ou instituições como as academias, aproximando-se em alguns momentos de uma História das Ciências pormenorizada, que caracterizamos como micro-história. Em trabalhos como o de Galison (1987), esta perspectiva é ainda mais pronunciada. Em sua obra How Experiments End (1987) o autor, através do estudo de experimentos específicos, explora as diferentes questões a respeito da produção das técnicas de medição, sobre a construção dos próprios experimentos e acerca da precisão dos dados que são extraídos das medições. Entra em discussão nesse estudo o que é considerado como resultado do experimento e o que é interpretado como simples ruído. Com isso, Peter Galison (1987) explora questões pertinentes ao fazer científico, ou seja, como as diversas performances associadas às práticas científicas vão moldando-se umas às outras para a determinação de resultados das ações experimentais, produzindo consensos sobre os significados físicos desses resultados e, então, decretando seu final.

A descrição que oferecemos acima leva a um dilema a respeito da suposta dicotomia entre estudos historiográficos em que se propõe um viés micro-histórico, com abundância de detalhes sobre os meandros da ciência de cada contexto e cada “caso”; e outros estudos, que defendem serem necessárias análises que levem a conclusões mais gerais sobre as ciências. Os defensores de estudos mais gerais, fugindo de casos muito particulares, costumam defender que dessa maneira, com o estudante chegando a “conclusões” mais gerais sobre a NdC, saberiam posicionar-se de forma mais concreta e segura sobre temas científicos.

Para analisar esse problema, cabe aqui retomar aquela que é nossa premissa maior, baseada no argumento defendido anteriormente: um dos objetivos da inclusão de História das Ciências no Ensino de Ciências em nível básico deve ser promover a discussão sobre aspectos da produção do conhecimento científico. Sendo assim, torna-se mais importante construir discussões do que asserções sobre a ciência em sala de aula, o que desmontaria a pretensão de fixar uma “imagem” para a ciência. Além disso, adotamos as premissas de Ginzburg, Tedeschi e Tedeschi (1993), segundo a qual a abordagem micro-histórica tem a intenção de, ao olhar para uma história mais local e

pormenorizada, tornar mais claro o contexto de produção das narrativas históricas, porém sem deixar de ligar os fatos mais específicos ao contexto mais amplo, o que responderia à crítica de que as abordagens sobre a ciência que flertam com a micro-história deixariam de lado o contexto mais amplo.

Por último, cabe lembrar que alguns estudiosos têm destacado como importante a virada recente dos estudos sobre a ciência para uma perspectiva mais localista (GALISON, 2008; KUUKKANEN, 2011), em detrimento das abordagens anteriores, consideradas mais totalizantes. Para os autores que têm defendido essa abordagem, de uma maneira geral, a ciência construída em uma localidade reflete aquele local e possui características diferentes de uma ciência construída em outro local (KUUKKANEN, 2011). Essa defesa da localidade da produção da ciência não nega, entretanto, a evidente globalização atual do discurso científico, o que vem sendo explicado por filósofos da ciência através de processos de deslocalização deste conhecimento (KUUKKANEN, 2011; GALISON, 1997).

Utilizar a História das Ciências Cultural no Ensino de Ciências implicaria, portanto, o desenvolvimento de narrativas históricas para o ensino que deslocassem de seu núcleo principal os grandes nomes da ciência e como estes atuaram para o estabelecimento de novas teorias, colocando em seu lugar as práticas científicas e como estas mudaram ao longo do tempo, além de como elas atuaram para alterar o conhecimento científico em si, isto é, traçar as rotas que nos pemitam entender “como a ciência se sustentou social, cultural e temporalmente” (NYHART, 2016). Através da História das Ciências Cultural, tem-se uma alternativa às visões historiográficas totalizantes ou às chamadas abordagens metodológicas (McGUIRE; TUCHANSKA, 2013), alterando a pretensão de caracterizar rupturas ou ascensões e quedas de programas de pesquisa, para a descrição de como o conhecimento científico se reconfigura gradualmente a partir de novas práticas e representações (KLEIN, 2003). Estes processos de reconfigurações graduais incluem ações de formação de novas gerações de cientistas, a criação de novas culturas científicas e disputas e controvérsias no interior da ciência, bem como suas relações com a cultura mais ampla, através da atuação de não-cientistas na ciência, da divulgação desse conhecimento ao público amplo, das relações socioinstitucionais que ali se desenvolvem e da própria explicitação dos contextos históricos mais gerais nos quais estas práticas científicas se desenvolveram. Por último, ao evitar a busca de abordagens estruturais para a ciência, é possível evitar caracterizações essencialistas e monolíticas para a mesma, que

pretendem determinar estruturalmente o que foi e normatizar o que é e será a ciência. No viés aqui desenvolvido, a discussão sobre a ciência continua sendo o principal objetivo para a História das Ciências no ensino.

A História Cultural das Ciências traz contribuições ao ensino de ciências, ao possibilitar a emergência de discussões sobre gênero, etnia, entre outras, na medida em que um estudo centrado nas práticas científicas pode facilitar a visibilidade de atores participantes do fazer científico e negligenciados na história das ciências das grandes ideias e, assim, suscitar discussões sobre estas perspectivas (MOURA; GUERRA, 2014; 2016c).

Defendemos, ainda, que as abordagens históricas para o ensino pautadas na História Cultural das Ciências podem destacar a função política e social do ensino de ciências na educação básica, harmonizando-se aos estudos pós-coloniais (LANDER, 2005). Isso porque na medida em que centramos atenção nas práticas coletivas ao longo do desenvolvimento da ciência, destacamos atores na produção científica que permitem dialogar com interpretações trazidas pelos estudos pós-coloniais, quando os mesmos questionam o eurocentrismo e a tese de uma Europa “autogerada e ascética”, processo no qual o papel das colônias europeias teria sido irrelevante na construção da cultura europeia (CASTRO-GÓMEZ, 2005), e, portanto, da ciência moderna. Aprofundar essa perspectiva sob a ótica da História Cultural das Ciências e Estudos Sociais das Ciências parece promissor no sentido de jogar luz sobre temas que envolvem ciência e poder, que hoje muitas vezes são negligenciados na Educação em Ciências. Essa defesa também é feita, em parte, no capítulo 1.

4. Um episódio histórico: a síntese dos éteres no início do século XIX

Tomando como ponto de partida as considerações feitas no capítulo anterior sobre as práticas científicas e a perspectiva historiográfica que pretende construir sua abordagem a partir desse conceito, neste capítulo apresentaremos um percurso histórico-didático para a abordagem da história da síntese do éter etílico no início do século XIX na educação básica. Antes de descrever o percurso a ser construído no capítulo, ressaltamos alguns cuidados prévios que coadunam com a linha geral que defendemos na tese.

O primeiro cuidado é reafirmar que, apoiados em nosso referencial teórico-político, não entendemos como possível a criação de sequências didáticas fora de seus contextos reais de aplicação, portanto o que proporemos aqui não é uma sequência didática a ser transplantada para algum contexto de aplicação. É, pois, uma análise de um determinado episódio da história da química que nos permite ressaltar algumas características que por um lado se reportam à linha historiográfica que defendemos, isto é, a História Cultural das Ciências, e por outro lado relacionam-se com contextos imaginados de inspiração para essa análise. Isso significa que na análise que propomos não estão esgotadas as possibilidades de narrar esse episódio histórico, visto que os contextos imaginados são finitos e oriundos da vivência do autor, e das situações de sala de aula compartilhadas pelos membros do grupo NIEHCC em reuniões semanais, do qual o autor participa.

O segundo cuidado é apontar que, conquanto utilizemos em alguns momentos fontes primárias, este trabalho não tem o objetivo de ser um trabalho de História das Ciências, mas sim uma reconstrução histórica com objetivos didáticos, isto é, o objetivo didático está colocado como farol para o desenvolvimento da narrativa histórica (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2012). Por esse motivo, utilizaremos preponderantemente fontes secundárias ainda que sem o compromisso de defender necessariamente a mesma tese ou argumento central do autor que referenciamos. Ora recorreremos a estas fontes com o objetivo de obter informações históricas úteis à construção de nossa narrativa, ora coadunaremos com o caminho argumentativo dessas fontes.

Feitas essas ressalvas, este capítulo se divide em três partes. A primeira parte (seção 1) traz considerações prévias sobre a História da Química Orgânica no Ensino de Química, justificando a importância do estudo tendo em vista a praticamente

inexistência de estudos desse tipo na literatura. Ainda na primeira seção, apresentamos a obra de Ursula Klein (2003), que é a base fundamental da narrativa histórica que construímos e como ela se situa em relação à literatura da área. Da segunda à quarta seção, desenvolvemos a narrativa propriamente dita e na quinta e última seção, faz-se uma meta-análise com considerações para o ensino de química.

4.1 Considerações prévias

Ao optar por abordar a ciência desde um ponto de vista histórico-epistemológico em sala de aula, há que se considerar a produção acadêmica sobre esse tema disponível na literatura e o que podemos entender como consolidado no conjunto de "boas práticas" a respeito da construção de episódios históricos para a Educação em Ciências. Ainda que estes não sejam pilares inquestionáveis, estamos aqui fazendo a opção de nos alinhar a estes princípios.

O primeiro princípio é a opção por estudos de casos históricos. Apoiando-nos em Forato, Martins e Pietrocola (2011) e Porto (2010) entendemos um caso histórico como a apresentação e discussão de forma não superficial do contexto das ideias e práticas da época, dos problemas, das hipóteses discutidas, dos fatores que levaram ao abandono ou aceitação de uma hipótese em detrimento de outras, das formas de circulação do conhecimento e dos aspectos materiais associados ao episódio histórico estudado. É difícil, no entanto, determinar qual a medida de cada um desses aspectos: O que determina um episódio histórico? O que significa não ser superficial? O quanto é necessário explorar as hipóteses vencidas, a circulação de conhecimento e os aspectos materiais? Há, sem dúvida, necessidade de mais estudos para gerar conhecimento sobre essas perguntas, o que exploraremos tangencialmente na última seção do capítulo.

Em nosso caso, no entanto, o primeiro princípio estará moderado pelo segundo princípio, discutido em Forato et al. (2011): a precedência dos objetivos pedagógicos sobre os demais aspectos da seleção histórica. Isso significa que, ao surgir a possibilidade de aprofundamento de um determinado aspecto histórico, essa trilha de aprofundamento será seguida na medida que existam razões pedagógicas para tal. Evidentemente, como discutido, tais razões podem variar drasticamente de um contexto a outro e, por isso, um mesmo episódio pode ter ênfases diversas ou mesmo ser contado de formas diferentes, sem que se perca o horizonte das prescrições mínimas das

historiografias da História das Ciências, em nosso caso da historiografia da História Cultural das Ciências. No fechamento deste capítulo, também, traremos comentários a esse respeito.

O tema geral escolhido para o desenvolvimento dessa pesquisa foi o processo de estabelecimento da química orgânica na primeira metade do século XIX, em particular a história da síntese dos éter a partir do álcool[53]. A escolha desse tema deve-se ao fato de a história da química orgânica praticamente não ter sido contemplada na educação em química até o momento, que tem se valido mais de exemplos relativos ao atomismo (MOURA; GUERRA, 2016b; OKI, 2009; VIANA; PORTO, 2010), à revolução química (FILGUEIRAS, 1995; OKI, 2004; CAMEL; MOURA; GUERRA, 2019) ou a outros episódios pontuais na história da química (SOUZA; PORTO, 2011; VIANA; PORTO, 2013). Além disso, o ensino de química orgânica é marcado por uma tradição colecionista relacionada à memorização de regras de nomenclatura, classificações e mecanismos de reação. Na pesquisa em ensino de química, essa área tem sido articulada principalmente com o movimento CTS e Educação Ambiental, em função de suas naturais conexões com a produção e uso de plásticos e com as questões envolvendo os desafios energéticos dos dias atuais, como o uso de combustíveis renováveis e não-renováveis, entre outros. No entanto, podem-se apontar exceções como Souza & Porto (2012), em que os autores fazem uma proposta para a abordagem histórica da síntese da quinina.

O percurso histórico aqui descrito é particularmente interessante porque ocorre em um período importante para a química orgânica, em que ela gradualmente se estabelece como uma subdisciplina da química, com a ascensão da química do carbono e a reconfiguração das práticas da química de plantas e animais, conforme detalharemos à frente. Autores como Chamizo (2013; 2017) e Jensen (1998) consideram esta mudança uma das revoluções pela qual teria passado a química desde o estabelecimento da disciplina. Dentre os autores que lidam especificamente com esse período, o historiador da química Alan Rocke, em seu livro "*The Quiet Revolution: Hermann Kolbe and the Science of Organic Chemistry*" defende a tese de que houve uma revolução na química por volta da década de 1850/1860, cujo protagonismo foi dado pela química orgânica. Segundo o historiador, indicadores principalmente quantitativos como o aumento do número de estudantes de química, do número de periódicos e de artigos publicados, o aumento das aplicações tecnológicas e o

[53] O etanol era a substância identificada com álcool na época.

crescimento da indústria química são sugestivos de um grande ponto de inflexão nessa época, alçando a química a um novo patamar, especialmente na Alemanha, onde o autor centra seu estudo (ROCKE, 1993). Somam-se a esses aspectos quantitativos, outros qualitativos, como o paulatino avanço da química estrutural e a capacidade de sintetizar substâncias já conhecidas da natureza ou totalmente novas. A centralidade da química orgânica nesse processo se dá justamente pelo fato de a grande maioria dessas novas moléculas sintetizadas serem classificadas como moléculas orgânicas (ROCKE, 1993). Rocke (1993) sustenta que, embora esses indicadores apontem uma grande inflexão no estudo da química na época, as mudanças começaram mais cedo, nos anos de 1830 e 1840, no que ele chama de uma preparação para a "revolução silenciosa" que viria a acontecer duas décadas depois: estes "eventos de preparação" foram liderados principalmente pelos trabalhos de Justus Liebig, Jean-Baptiste Dumas, Auguste Laurent e Charles Gerhardt.

Sem discordar da importância dos eventos envolvendo a química orgânica neste período, Ursula Klein (2003) em seu livro lançado dez anos depois do trabalho de Rocke, e intitulado "*Experiments, Models, Paper Tools: Cultures of Organic Chemistry in the Nineteenth Century*", defende que os eventos considerados por Rocke (1993) como uma preparação para a profunda mudança ocorrida em meados do século XIX já constituíam parte desta mudança. Para a autora, a mudança foi paulatina ao invés de rápida e bem localizada temporalmente, como podemos entender a partir da perspectiva de Rocke. A diferença de abordagem entre ambos pode ser notada já pelo título das suas obras: a primeira destacando uma revolução e um personagem, e a segunda se notabilizando por destacar práticas do fazer científico em detrimento de personagens. Há que se notar na obra de Klein a presença da palavra "culturas", no plural. Essas escolhas dos autores estão ligadas às suas opções historiográficas, conforme argumentaremos.

Klein (2003) parte de uma perspectiva distinta de Rocke. Logo na introdução de seu livro, ela dá destaque aos estudos que têm promovido uma imagem performativa da ciência, epitomizada por jargões como "ciência em ação", "ciência como cultura", "ciência como prática" e representada por autores como Peter Galison, Andrew Pickering, Bruno Latour, entre outros. Não apenas no início, mas ao longo de seu texto, Klein (2003) explicita que seu livro "continua esta linha de investigação" (p. 1) e a partir daí, apresenta diversas "ferramentas analíticas" com as quais vai trabalhar no livro. Uma delas é a teoria semiótica, que utiliza para analisar o uso das fórmulas químicas não somente como representação e ilustração, mas, principalmente, como "ferramentas do

papel", com as quais os pesquisadores poderiam prever e propor novas rotas reacionais, objetivos, conceitos e possibilidades, de uma maneira geral, para a pesquisa científica em química.

Klein (2003) aponta que a mudança pela qual passa a química orgânica nesse período é estruturalmente profunda. Tal mudança se relaciona com a transformação da química de plantas e animais de uma cultura pluricentrada (e caótica), incluindo a fisiologia e a produção de fármacos relevantes, para uma etapa em que a emergente química do carbono se torna a espinha dorsal da indústria química, na segunda metade do século XIX (KLEIN, 2003). Essa transformação ocorre em um nível estrutural e profundo, que afeta

> "os tipos de experimentos, as ferramentas representacionais e modos de representação, o estilo de argumentação e justificação, e a classificação de substâncias orgânicas. Além disso, reestrutura a área inteira de objetos científicos e altera a noção de substância orgânica. O significado de 'orgânico' e a classificação de substâncias orgânicas antes e depois do período de transformação eram incomensuráveis." (p. 5)[54]

As fórmulas químicas, notadamente as de Jacob Berzellius, foram fundamentais nesse processo, conforme Klein (2003) defende. Outro aspecto importante é que a percepção de uma mudança progressiva em vez de revolucionária está intimamente atrelada a um conceito que a autora usa nesta obra – o conceito de cultura científica. Para Klein (2003) "cultura científica" é um termo usado para descrever relações relativamente coerentes entre diferentes elementos sociais, materiais, simbólicos e práticas em nível coletivo de uma ciência. Diferem, portanto, das disciplinas científicas, embora se relacionem entre si. A título de exemplo, a química do carbono, que veio a se estabelecer de meados do século XIX em diante é uma cultura científica diferente da cultura científica da química de plantas e animais. Como toda ferramenta analítica, a definição do que será considerado diferente o suficiente para ser apontado como uma nova cultura científica depende de diversos fatores relacionados ao analista e, também, dos objetivos estabelecidos para essa classificação. Além disso, culturas científicas não são estanques, suas práticas convivem em contextos de transformação. Fica como nota, no entanto, que quando nos referirmos à cultura científica, estaremos nos remetendo à definição oferecida por Klein (2003).

[54] No original: "(…) the type of experiments, the representational tools and modes of representation, the style of argumentation and justification, and the classification of organic substances. Moreover, it restructured the entire area of scientific objects and altered the notion of organic matter. The meaning of 'organic' and the classification of organic substances before and after the transformation period were incommensurable".

Em linha com outras publicações (e.g. Klein (2015)), a autora possui um olhar para a História das Ciências distinto das chamadas abordagens metodológicas (McGUIRE; TUCHANSKA, 2013), que buscam identificar padrões no desenvolvimento das ciências que se aproximem a estruturas prévias, como revoluções, estilos de pensamento, programas de pesquisa progressivos ou regressivos, etc. Isso não significa, entretanto, ausência de ferramentas analíticas ou de lentes teóricas prévias para olhar a história. Isto porque, se aceitamos (e este parece ser um consenso altamente corroborado) que a produção e análise de dados na ciência é *theory-laden*, devemos considerar que análises de "dados"[55] históricos também o são, o que é respaldado pelo conjunto de princípios teóricos aos quais a autora se alinha e que orientam sua análise. Sendo assim, o que significa afastar-se das abordagens metodológicas? O sentido aqui empregado é o discutido no capítulo anterior, que está relacionado com o trajeto da História das Ciências rumo a uma perspectiva mais historicista e menos hibridizada com correntes da filosofia de tradição mais normativa.

Sintetizando, estamos aqui nos aproximando da perspectiva advogada por Klein (2003, 2015), em que pese o fato de usarmos múltiplas fontes históricas, de tradições diversas. Isso marca um compromisso com determinado viés, que coaduna a defesa da História Cultural das Ciências, que fizemos no capítulo anterior.

4.2 Por que o éter? Contextualizando a história.

Quando se fala na palavra éter, o seu referente mais conhecido – ao menos para aqueles familiarizados com a História das Ciências – talvez não seja a substância química éter, mas o éter luminífero, identificado com a disciplina de Física. Este é conhecido como uma substância imponderável e intangível que permeia o espaço interplanetário (em volta de e entre os corpos) e serve como meio para a transmissão das ondas de luz e também da força de atração e repulsão entre os corpos, explicando, portanto, a ação à distância (WHITTAKER, 1910). A palavra éter, antes de seu primeiro uso na química, em 1730, foi usada para descrever, em várias religiões e cosmogonias, algo puro, imutável e às vezes de origem divina ou superior (PRIESNER, 1986). Apesar de reconhecermos essa polissemia, não trataremos nem do éter luminífero, nem dos sentidos culturais assumidos pela palavra éter.

[55] Optamos por colocar "dados" entre aspas porque entendemos que não há algo como um fato histórico "in natura", ou "a salvo" da interpretação dos historiadores. Ver nota de rodapé 41.

Nomeado como etóxietano, segundo a nomenclatura oficial atual da IUPAC, mas vulgarmente conhecido como éter (di)etílico ou simplesmente éter, a substância que é objeto de nosso estudo possui uma longa trajetória na história da química. Segundo Walden (1952) e Priesner (1986), em geral, a descoberta do éter é creditada ao médico e botânico alemão Valerius Cordus (1515-1544). Conta-se que Cordus, trabalhando em uma botica, aqueceu uma mistura de partes iguais de álcool (etanol ou álcool etílico) e ácido sulfúrico em um banho de areia[56] obtendo uma substância oleaginosa à qual chamou de *oleum vitrioli dulce*, na tradução, "óleo doce de vitríolo". Historiadores da ciência, entretanto, discordam sobre essa precedência. Há relatos de que Raymundus Lullus (1232-1315) também teria produzido a substância por volta de 1275, embora não haja evidências suficientes disso nas cartas enviadas por ele, relatando o feito ao Rei da Escócia na época (PRIESNER, 1986; MYERS, 2007). Há indicações de que Paracelso (1493-1541) também teria produzido a substância, que ele chamou de *spiritus vitrioli ant-epilepticus*. Em seus experimentos, ele teria observado que galinhas "dormiam" ao inalar vapores da substância (MYERS, 2007). Há, porém, dúvidas sobre se o design do experimento permitiu, realmente, a formação e o isolamento do éter (PRIESNER, 1986). Mesmo que as tentativas anteriores a Cordus de sintetizar a substância tenham sido, aparentemente, todas fracassadas, revisões posteriores dos próprios experimentos de Valerius Cordus, que foram ricamente descritos em seu ensaio *De artifieiosis extractionibus*, publicado *post mortem* em 1561, dão conta de que se Cordus seguiu exatamente o procedimento descrito, e, assim, não poderia ter obtido éter, mas uma mistura de ésteres sulfúricos misturados com éteres, álcoois, entre outras substâncias (PRIESNER, 1986; WALDEN, 1952).

Em 1730, August Siegmund Frobenius (1700-1741) usou pela primeira vez o termo éter para designar o produto da reação do álcool com ácido sulfúrico. Suas motivações para escolher esse termo não são bem conhecidas. Frobenius acreditava, utilizando ideias trazidas da teoria dos quatro elementos, que a substância nomeada éter deveria ser constituída por algo entre o fogo e a água, o que explicaria sua inflamabilidade, volatilidade (assemelhando-se ao fogo, portanto) e solubilidade, além de sua característica menos oleosa que aquosa – observação que se contrapunha às características do líquido isolado por Valerius Cordus anteriormente (PRIESNER, 1986). Frobenius classificou o éter em seu ensaio como "o mais nobre, eficaz e útil instrumento em toda a Química e Farmácia" (FROBENIUS, 1730: 286). Isso se deve, segundo

[56] Banho de areia: é um tipo de técnica de aquecimento em que se usa areia, em vez de óleos, parafinas ou água. Recomendado para aquecimento a temperaturas superiores a 200ºC.

Priesner (1986), à intenção dele e de seu colaborador Godfrey Hanckwitz (1660-1741) em obter lucro da venda do éter a pessoas interessadas, o que seria confirmado pelo fato de eles não terem publicado qualquer informação sobre a rota de síntese do éter, com a qual estavam trabalhando. Ainda analisando o ensaio de Frobenius, é possível perceber que ele descreve a capacidade da substância de extrair diversos tipos diferentes de óleos essenciais, isto é, suas propriedades como solvente, o que endossa o entusiasmo manifestado.

Este pequeno prólogo sobre as origens do éter dão o tom de que sua história é marcada por controvérsias. A partir dessa introdução, é possível notar um pouco da importância do éter e do conhecimento de suas propriedades para aquele contexto do século XVIII e anteriores. No final do século XVIII e início do século XIX, cumpre notar a sua importância fundamental para outra disciplina, a medicina, além de seu uso recreativo, associado à mesma história.

Começando pelo primeiro tópico, o éter foi uma das substâncias de destaque na história da anestesiologia. Snow (2008) afirma que uma das grandes novidades na história da medicina no final do século XVIII e início do XIX foi a pesquisa com substâncias que causavam estados alterados de consciência e insensibilidade à dor. Este tipo de pesquisa só foi possível a partir de novos entendimentos sobre o funcionamento do corpo humano. Até o século XVII, acreditava-se que a dor fosse o produto do desequilíbrio nos sistemas de regulação do corpo humano, isto é, segundo a Teoria dos Humores, um corpo saudável era entendido como plenamente equilibrado em relação aos humores presentes nele, o que não diferenciava, por exemplo, estados físicos e psicológicos. Nessa perspectiva o corpo era entendido como um todo (SNOW, 2008), o que levava à aplicação de terapias como a sangria para prevenção de dores. A partir da popularização de novas práticas no século XVII, como a dissecação dos corpos, o corpo humano passa a ser entendido de maneira diferente, com os processos de circulação sanguínea e um detalhamento cada vez mais preciso sobre o seu funcionamento e sua segmentação em diferentes sistemas com funções diversas (PIMENTEL, 2007). Com isso, o sistema nervoso passa a ser um novo campo de pesquisa, estando relacionado diretamente com a dor (SNOW, 2008).

Com essa mudança de foco, novas técnicas e ideias surgiram como possíveis soluções para evitar a dor em procedimentos cirúrgicos. Até o século XVIII, as cirurgias eram, além de muito arriscadas, extremamente dolorosas, o que as tornavam uma das últimas opções de tratamento médico. A principal qualidade da terapia cirúrgica era a

rapidez do procedimento, capaz de minimizar o tempo a que o paciente estaria submetido à dor (SNOW, 2008). Quando o éter passou a ser usado como anestésico, seus efeitos já eram bastante conhecidos e ele era aplicado topicamente, inalado ou mesmo consumido por razões médicas (MYERS, 2007). Ainda no final do século XVIII, o vapor de éter era inalado como combate a dores de cabeça, difteria, tuberculose pulmonar, como antiespamódico, e como tratamento contra catarro e asma (CARTWRIGHT, 1960).



Figura 6: Cinco cirurgiões participam na amputação da perna de um homem sem anestesia, enquanto um sexto homem os observa. “Amputação”, Thomas Rowland, 1793. Fonte: Boyd (2011).

No entanto, provavelmente porque antes havia um entendimento distinto da fisiologia humana que não fazia a relação desses efeitos com a sensibilidade humana à dor, apenas em 20 de março de 1842 a substância foi utilizada como um anestésico pelo médio americano Crawford Williamson Long (1815-1878) (MYERS, 2007). Embora não pretendamos traçar aqui uma história da anestesiologia, cabe identificar pontualmente como o éter deixou de ser apenas mais uma substância dentre outras, para tornar-se o primeiro anestésico geral usado em uma cirurgia. Nesse sentido, conectam-se as duas histórias: a história do uso médico e a história do uso recreativo.



Figura 7: Um cartoon presente em dissertação de aluno de medicina da Universidade da Pennsylvania sobre “os efeitos químicos e hilariantes do gás óxido nitroso”. Entre os dois homens de preto, aparentemente está Humphry Davy, e outro personagem importante nas pesquisas com esse gás, Thomas Beddoes (1760-1808), à direita. Em destaque, diversas frases atribuídas a Davy ao descrever suas experiências usando o gás hilariante. Fonte: Jay (2014).

Desde o início do século XIX ficaram muito conhecidas, notadamente em países europeus, as chamadas “ether frolics”[57], que eram festas, nas quais havia o abuso de substâncias causadoras de estados de consciência alterados. Nestas festas, além do éter eram utilizados o clorofórmio e substâncias derivadas da pesquisa com os “ares” no século XVIII e início do século XIX. Há relatos de uso do óxido nitroso, conhecido popularmente por gás hilariante ou gás do riso, e também do *ar fixo*[58], isolado por Joseph Priestley (1733-1804). Ainda no contexto do abuso de substâncias químicas, o éter era ingerido puro ou misturado a outras bebidas destiladas (CARTWRIGHT, 1960).

Embora fossem mais famosas na Europa, as *ether frolics* também ocorreram nos Estados Unidos da América. É possível encontrar cartazes de inúmeros eventos desses sendo anunciados como grande atração no início do século XIX nos EUA, conforme Figura 8.

[57] Ou *gas frolics* ou *laughing gas* parties ou *ether parties*.
[58] Hoje, gás carbônico.

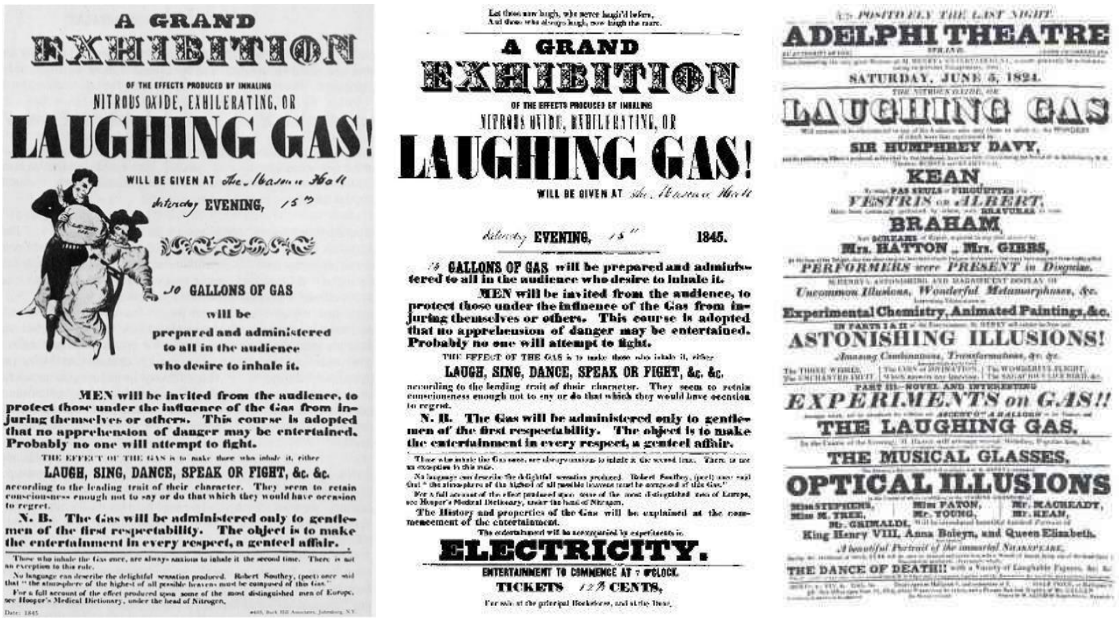


Figura 8: Pôsteres de exibições públicas envolvendo a inalação de gás hilariante e outras substâncias psicotrópicas.

Foi em uma dessas festas em que a história da anestesia começa a se ligar com a história da utilização de substâncias psicoativas. Segundo Reis Júnior (2006), Crawford Long, em 1841, esteve presente em algumas dessas festas na pequena cidade de Jefferson, onde então morava. Na primeira festa, observou os efeitos e aplicou uma toalha embebida de éter ao nariz de cada um dos presentes, observando os efeitos em seus colegas. Isso se repetiu nas noites seguintes, até que em uma das noites, Long resolveu experimentar os efeitos da inalação de éter e observou que após retomar totalmente sua consciência, havia em seu corpo marcas de pequenas contusões e equimoses, sem que houvesse sentido qualquer dor. Esse acontecimento o levou a considerar que o éter poderia agir como um anestésico a ser usado em cirurgias. Isso, evidentemente, não significa que a utilização do éter como anestésico foi uma “descoberta” casual. Cabe lembrar que Long era médico e que conhecera os efeitos do éter (e do óxido nitroso) ainda na faculdade, em demonstrações realizadas por professores de química e física (REIS JÚNIOR, 2006)

Esta, que é a história mais conhecida, esconde outras histórias por trás, no entanto. Washington (2008), por exemplo, aponta que a história da medicina americana está repleta de violações de direitos básicos da população negra. A autora narra vários casos em que os médicos utilizaram pessoas negras escravizadas em experimentos clínicos, sem qualquer preocupação com a dor e o sofrimento aos quais essas pessoas

eram submetidas. O caso da história do uso do éter como anestésico insere-se nessa prática. Em 1839, um grupo de jovens que participava de uma das *ether frolics* próximo à cidade de Athens, nos EUA, após usar as substâncias psicoativas características dessas festas, observou que havia um jovem negro à porta do local. Ao perceber que ali estava o negro, um jovem de nome Wilhite ofereceu éter ao rapaz negro, que recusou. Wilhite insistiu para que ele aceitasse. Diante de uma nova recusa, um grupo de convidados da festa se reuniu e forçou o jovem negro a inalar éter. O jovem negro resistiu e lutou ferozmente, porém não conseguiu impedir a administração do éter a si (LEWIS, 1931). O jovem negro, em vez de ficar em estado eufórico ao usar éter (como os demais), ficou quieto e após um tempo caiu desacordado no chão. Tal episódio foi relatado em detalhes pelo médico Julian Lewis em 1931 com o título (sic) "*Contribuição de um negro desconhecido para a anestesia*"[59] no periódico Journal of the National Medical Association. Segundo o autor, tal episódio somou-se às evidências que fizeram o médico Crawford Long considerar o uso do éter em cirurgias, por seu potencial anestésico. Pouco mais de 2 anos depois, em 1842, Long realizou a primeira cirurgia usando éter como anestésico geral. A segunda cirurgia realizada por ele usando éter como anestésico foi a amputação do dedão de um jovem negro escravizado (seu nome também não foi registrado) ainda em 1842. Em 1845, Long fez outra cirurgia em um dos seus escravos, amputando o dedo de um homem adulto (WASHINGTON, 2008).

[59] No original: "Contribution of an unknown negro to anesthesia".

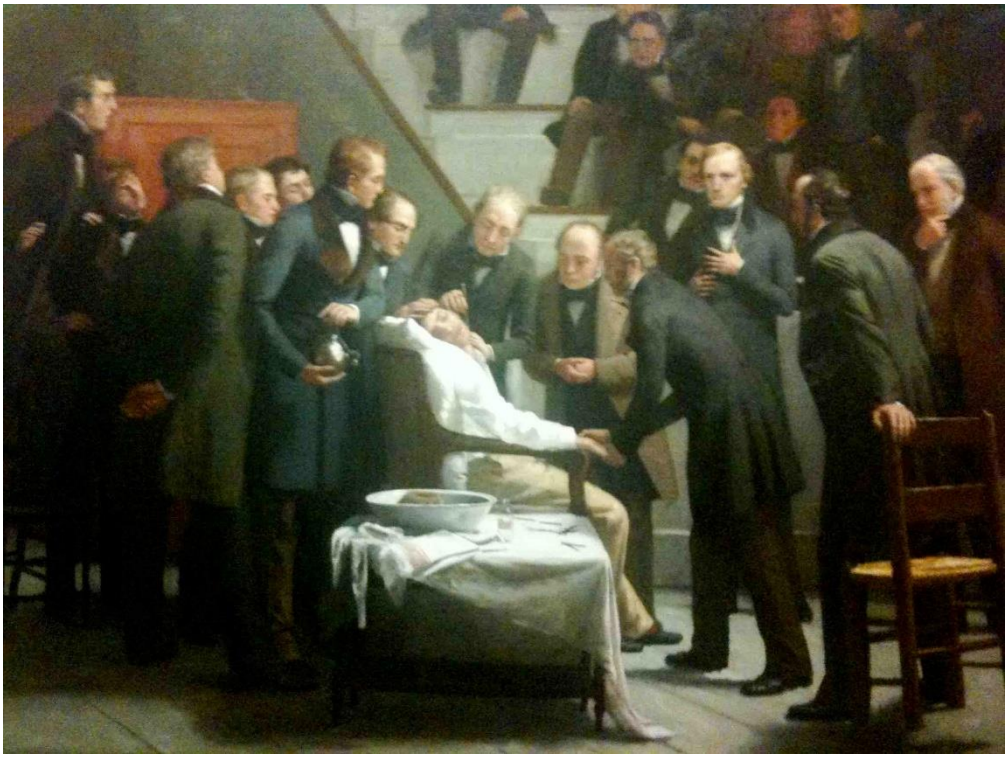


Figura 9: A primeira cirurgia com éter [The First Operation with Ether], de Robert C. Hinckley. Na pintura, feita entre os anos de 1882 e 1893, aparece dentre os homens em pé o americano William Thomas Green Morton (1819-1868), que havia sido creditado inicialmente como o primeiro a utilizar o éter em uma cirurgia dentária. Observa-se na imagem que a cirurgia foi realizada na presença de uma audiência, indicando se tratar de uma demonstração ao público, em um anfiteatro, marcando uma prática comum à época.

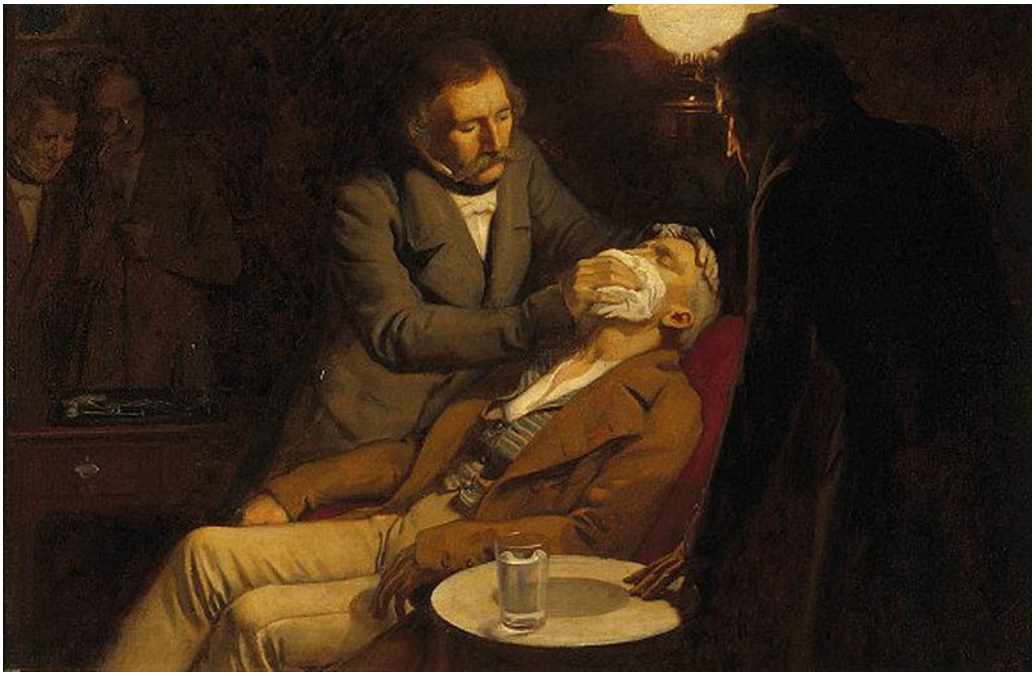


Figura 10: O primeiro uso de éter na cirurgia dentária, 1846 [The first use of ether in dentral surgery, 1846], de Ernest Board. Na pintura, feita por volta de 1920, William Thomas Green Morton administra éter a um paciente.



Figura 11: Reconstituição da demonstração de anestesia com éter, por W. T. G. Morton em 16 de outubro de 1846, na sala de operações do Hospital Geral de Massachusetts, em Boston. Fonte: Library of Congress.

Um aspecto importante de ser ressaltado é que o primeiro uso do éter como anestésico em uma cirurgia é algo controverso. Hoje, entende-se que o médico Crawford Long é o detentor dessa marca. No entanto, o dentista William Thomas Green Morton foi considerado, por muito tempo, o primeiro a usar éter como anestésico. A origem da controvérsia está no fato de que, conquanto tenha feito publicamente sua demonstração em março de 1842, e tenha seguido realizando cirurgias com o uso de éter (REIS JÚNIOR, 2006), Long só publicou seus feitos em 1848 (MYERS, 2007). Dois anos antes, em dezembro 1846, Morton recebeu a notícia de que um dentista em Boston, William Green, havia feito a primeira cirurgia sem dor, através da inalação, pelo paciente, do vapor de uma solução que, embora não estivesse claramente descrita, era tida (por seu odor) como uma solução etérea de algum narcótico. Em janeiro de 1847, sob pressão da comunidade médica, Green publicou na revista *Medical Examiner* que a substância usada era o éter. Ainda, no número seguinte, houve o anúncio de que outro

dentista, Horace Wells, também havia empregado outro método inalatório (porém com óxido nitroso) com relativo sucesso, antes mesmo de Morton (REIS JÚNIOR, 2006).

Embora não nos tenhamos detido aqui em aspectos mais pormenorizados a respeito da história da anestesia e do uso do éter como anestésico, esta breve introdução teve o objetivo de explorar a importância do éter para aquele contexto histórico. Buscamos pontuar desde seu uso médico e científico, quanto os aspectos culturais como o uso recreativo e a popularização da substância. Com isso, pretendemos abordar alguns dos aspectos do porquê o éter se tornou importante comercialmente naquele contexto. Na próxima seção, iniciaremos o percurso na história da síntese do éter a partir de álcool; para isso, começaremos descrevendo as mudanças da química orgânica do final do século XVIII para o século XIX.

4.3 Da química de plantas e animais à química do carbono

Conforme argumentamos anteriormente, tanto Rocke (1993) quanto Klein (2003) advogam grandes mudanças nas tradições da química, que hoje conhecemos como química orgânica. Chamizo (2017) chega a classificar essas grandes mudanças como uma das 5 revoluções pelas quais a química teria passado em sua história. Previamente, Jensen (1998) já havia destacado esta como uma das três revoluções químicas, atribuindo papel importante à síntese de diversos novos compostos orgânicos em meados do século XIX. Contudo, há uma diferença a ser considerada entre esses autores, que diz respeito à forma como conceitualizam a História das Ciências. Klein, com sua abordagem mais próxima ao pós-estruturalismo e à História Cultural das Ciências, centra sua análise em culturas locais e mudanças graduais. Já Rocke, Chamizo, Jensen pautam suas análises da História das Ciências em revoluções e mudanças mais estruturais. Nesta seção, seguindo a abordagem de Klein (2003), daremos atenção às mudanças em culturas locais do que hoje chamamos de química orgânica no final do século XVIII e início do século XIX, e que resultaram em um novo arranjo após meados do século XIX, mesmo considerando, conforme discutido na seção anterior, que determinadas práticas se mantenham, conquanto outras se modifiquem, alinhado com o tipo de análise histórica da HCC. Para tanto, procuraremos caracterizar o que ficou conhecido como a química de plantas e animais no início do século XIX e a química do carbono, de meados do século XIX em diante.

A Química de Plantas e Animais (QPA) era considerada uma subcultura da química, mais proeminentemente identificável no final do século XVIII e início do século XIX que se caracterizava fundamentalmente por possuir traços de outras disciplinas, principalmente a História Natural e a Farmácia. Tal campo de estudo possuía pouquíssima influência de áreas como a química inorgânica e seus procedimentos experimentais, bem como dos princípios metafísicos da Filosofia Natural. Dessa forma, não conjugava de teorias caras à química inorgânica, como a das afinidades, que se relacionavam à física newtoniana. É importante considerar que a chamada Revolução Química do final do século XVIII relacionada a reforma na nomenclatura química e prática rigorosa de métodos quantitativos deixa praticamente intocada a cultura da QPA (KLEIN, 2015), que seguiu tendo suas práticas e tradições consideravelmente estáveis[60]. Mesmo que essas práticas e tradições tenham mudado lentamente ao longo do século XVIII como, por exemplo, a introdução da extração por solvente em vez da destilação para obter substâncias de plantas e animais (HOLMES, 1971), de uma maneira geral a QPA mantém-se sem grandes mudanças até a década de 1820, aproximadamente.

Em relação aos objetos de investigação, a QPA possuiu uma idiossincrasia importante se compararmos com o que hoje é considerada a Química Orgânica. Conforme Klein (2005), a QPA lidava com substâncias extraídas dos corpos de plantas e animais mortos, mas não apenas, era objeto de investigação também a química dos corpos vivos. Sendo assim, havia interesse na estrutura e anatomia de plantas e animais, bem como seus processos fisiológicos, o que incluía os processos de digestão, respiração, fermentação, putrefação, entre outras. Naturalmente, esses estudos possuíam interseções com a botânica e a zoologia. É interessante observar que muitos desses processos não podiam ser estudados por meio dos métodos clássicos da química, era necessária a observação “livre” na natureza, o que significa que a QPA constituía uma cultura científica ao mesmo tempo experimental e observacional. Como exemplo da definição de escopo da QPA, tomemos a classificação do químico francês Antoine-François Fourcroy (1755-1809) de seis classes de “fatos” pertencentes à química de plantas, descrita em seu livro didático *Systême des Connaissances Chimiques* (1801-1802) (KLEIN, 2003):

[60] Esse aspecto, inclusive, é um dos argumentos utilizados por Klein (2015) para defender que a Revolução Química foi uma “revolução que jamais aconteceu”.

- A estrutura / organização das plantas, sem a qual não se poderia entender as propriedades químicas de suas substâncias;
- Composição ou a natureza das plantas;
- Comportamento das substâncias químicas no interior das plantas;
- Exame de todos os materiais extraídos das plantas;
- Estudo das diferentes alterações naturais às quais as plantas são suscetíveis;
- A “física das plantas”, o que inclui todos os fenômenos químicos da vida vegetal.

Quanto à química de animais, Fourcroy (1801-1802) indica, *mutatis mutandis*, funções muito parecidas às da química de plantas. É importante ressaltar que no final do século XVIII, Lavoisier performou experimentos de análise elementar, especialmente com plantas, que apontavam para uma composição dessas plantas baseada principalmente em três elementos: carbono, oxigênio e hidrogênio. Isso levantou questões sobre como as plantas, em sua diversidade, poderiam ser formadas por apenas estes três elementos, o que, para Foucroy, levava à conclusão de que os processos que ocorriam internamente às plantas deveriam ser entendidos em termos de sínteses químicas. Além disso, embora houvesse tentativas de adaptar os conhecimentos da química inorgânica para uso na QPA, Fourcroy enfatizava a necessidade de métodos distintos entre a química inorgânica e a QPA. Para tal defesa, ele se baseou em diferenças ontológicas entre os corpos do reino mineral e dos reinos animal e vegetal. Outros livros didáticos como o britânico *System of Chemistry*, de Thomas Thomson (1773-1852), também traziam caracterização e propostas similares às de Fourcroy para a QPA (KLEIN, 2003; 2005b).

Um segundo aspecto importante a ser caracterizado é a ligação da QPA com o estudo da “vida”. Para Jacob Berzelius, químico sueco de grande prestígio no primeiro terço do século XIX, o estudo do que caracterizaria a “vida”, isto é, o que seria a causa da diferença de comportamento nos corpos inanimados e animados, deveria ser um dos objetivos centrais para a QPA. Isto porque alcançar esse objetivo seria encontrar a “chave” desse conhecimento. É, também, Berzelius que começa, nessa época, a utilizar o termo “química orgânica” para se referir à QPA (KLEIN, 2005b). Ainda no domínio dos termos usados na QPA, os princípios imediatos, que na química inorgânica significavam

os constituintes últimos que funcionavam como “blocos de montar”[61] em reações químicas, no contexto da QPA significavam os materiais estáveis que compunham os tecidos de plantas e animais, bem como estavam presentes em reservatórios no interior das plantas. Isso ocorria porque o termo estava ligado, em cada domínio, a práticas experimentais diferentes, sendo que no caso da QPA, as substâncias extraídas de plantas e animais eram simultaneamente objetos de estudo da QPA e da História Natural, justificando a ambiguidade do termo, já que em cada contexto havia um *rationale* diferente a conformar esse signo.

Na identificação de substâncias provenientes de plantas e animais, a lógica também era bastante distinta daquela empregada na química inorgânica. Muitas vezes tomava-se critérios usados na História Natural. Dessa forma, era comum identificar a substância pela sua cor, transparência, cristalização (cristalina ou amorfa), elasticidade, dureza, odor, entre outras características incomuns no domínio da química inorgânica. Seguindo esse caminho, Fourcroy e Thomson nomearam muitos princípios das plantas, como: suco, muco, açúcar, ácidos vegetais, cera, tanino, amido, glúten, entre outros. Seguindo caminho semelhante, Thomson listou oito substâncias para o caso dos animais: gelatina, albumina, fibrina, mucilagem, ureia, açúcar, óleos e resinas (KLEIN, 2005a). Nesta época, a razão para essas substâncias serem conhecidas como “orgânicas” era o fato de serem produzidas em órgãos de plantas e animais, revelando o caráter dual dessas classificações entre a QPA e a História Natural. Ainda no domínio das classificações, a química inorgânica, em sua reforma de nomenclatura do final do século XVIII, tomou da História Natural alguns termos como “espécie química”, por alusão à “espécie”, que eram agrupadas em gêneros, que por sua vez eram agrupados em classes. Esse tipo de classificação era ausente ou, ao menos, mais desordenado na QPA da mesma época. Isso derivava da falta de consistência do conhecimento dos químicos da QPA sobre a composição, as propriedades “essenciais” das substâncias e sobre como elas se diferenciavam umas das outras (KLEIN, 2003). Essas dúvidas levaram Berzelius a conduzir uma série de experimentos quantitativos (as análises elementares) que tinham como objetivo conhecer a composição última destas substâncias. Porém, o fato de ter encontrado substâncias com características muito distintas, embora com composições muito semelhantes, o fez repensar esse objetivo. Em 1820, Berzelius admitiu que a experimentação sozinha não seria capaz de prover conhecimento para identificar e distinguir espécies químicas na química orgânica.

[61] Klein (2003) usa o termo “building blocks”.

Em 1820, Berzelius começou a considerar soluções para o problema da classificação das substâncias na química orgânica. Com base em suas fórmulas químicas e partindo do antigo princípio de que diferenças nas propriedades das substâncias são causadas por diferenças na composição qualitativa e quantitativa, o químico sueco defendeu que, pelo menos em teoria, seria possível fixar um sistema de classificação para a química orgânica, a partir de determinações de distinções claras entre gêneros e entre espécies. Assumindo que as substâncias seriam formadas por "átomos ou volumes"[62] (BERZELLIUS, 1814), haveria, então, duas grandes classes de compostos. Uma classe seria composta por uma pequena quantidade de "átomos", em que qualquer diferença de composição levaria a uma dramática diferença nas propriedades e no comportamento das substâncias, e na outra classe estariam as substâncias formadas por grande quantidade de átomos, em que pequenas diferenças na composição não teriam grande repercussão nas propriedades e comportamento das substâncias. Na primeira classe, estariam substâncias como ácidos vegetais e na segunda, açúcares, tanino, óleos, etc. Apesar disso, Berzelius continuou defendendo que a química orgânica deveria ser um ramo da história natural, algo contestado por Jean Dumas em 1837. De acordo com esse posicionamento, Berzelius não considerava as substâncias obtidas por modificações em laboratório de princípios extraídos das plantas, como sendo pertencentes à química orgânica. Com o caminhar da disciplina, essa distinção entrou em colapso, conforme veremos à frente.

Do ponto de vista da prática experimental, a atividade principal no início do século XIX era a extração de substâncias de plantas e animais e os testes subsequentes para determinar as propriedades químicas e sua composição. Nas técnicas de extração, também chamada de análise primária (ou análise imediata), havia métodos mecânicos – dissecar, triturar, prensar –, destilação e extração por solvente. A destilação dominou as técnicas de extração até a primeira metade do século XVIII, embora tivesse a desvantagem de ser uma técnica destrutiva e que levava basicamente aos mesmos componentes qualquer que fosse a planta analisada (HOLMES, 1971). Isso mudou na segunda metade do século XVIII, quando com o apoio dos boticários (que possuíam muito mais conhecimento nesse ramo), as técnicas de extração por solvente foram se tornando dominantes. A análise das plantas era uma atividade com natureza dual: por um lado, podia ser entendida como uma tarefa eminentemente química, tendo em vista que se baseava na premissa de que tal análise lidaria com substâncias químicas das

[62] Estamos usando átomos entre aspas para distinguir da noção contemporânea de átomo e mesmo do átomo físico, que vinha sendo investigado no século XIX na Física.

plantas “que já estavam lá” antes mesmo da extração. Isto é, a extração não era entendida como uma mudança dessas substâncias. Por outro lado, também apresentava um caráter de História Natural, na medida que essas substâncias poderiam ser interpretadas como a continuação da anatomia das plantas por meios químicos, o que era algo expresso na própria retórica dos químicos envolvidos na QPA. Alguns naturalistas, entretanto, discordavam desse argumento, pois, segundo eles, a análise empreendida pelos químicos extrairia o “conteúdo vital” das plantas (KLEIN, 2003).

Após a extração, na QPA havia o teste das propriedades químicas da substância. Segundo Klein (2003), esse teste denotava uma visão conceitual específica, na qual o efeito da reação química era visto como um indicativo da propriedade da substância testada, seguida de um registro de quais eram as propriedades em questão. Diferentemente, o entendimento destes fenômenos como reações químicas presumia uma simetria entre as substâncias que estavam reagindo. Isto é, não havia uma substância “principal”, cuja propriedade era revelada pela mudança de comportamento da outra substância, mas sim era considerado que ambas reagiam mutuamente. Um exemplo claro disso foi a utilização de indicadores. Segundo a primeira concepção, o indicador seria uma substância coadjuvante capaz de revelar uma propriedade da primeira substância. Já na segunda visão, ambas substâncias reagem mutuamente, o que muda, inclusive, o “depois” da reação. Em vez de apenas anotar as propriedades da primeira substância, a tarefa na segunda visão iria muito além, indicando outros experimentos a serem feitos a partir daquele primeiro teste, e em muitos casos a construção de modelos usando as fórmulas químicas. Quando os químicos passam a utilizar múltiplos métodos de determinação das substâncias orgânicas – notadamente o cruzamento da análise elementar e análise imediata – e implementam o uso das fórmulas químicas, de 1820 em diante, há um deslizamento gradual da primeira para a segunda visão conceitual.

Até aqui, falamos apenas de extração e análise como fazendo parte da QPA. Este é um aspecto importante que diferencia a cultura da QPA da cultura da química inorgânica da época, já que na segunda uma atividade fundamental era a síntese de novas substâncias, como o próprio Fourcroy definiu (KLEIN, 2003), o que excluiu a QPA do escopo disciplinar da química. De fato, a QPA não tinha como característica a síntese de novas substâncias, e isso é plenamente coerente com a própria visão conceitual da disciplina, que possuía uma perspectiva assimétrica das “reações” químicas, conforme comentado acima. Além disso, a decomposição espontânea de substâncias orgânicas,

que não era investigada pelos pesquisadores da QPA, também foi um ponto de divergência em relação à química inorgânica, afastando as duas disciplinas (*idem*).

Todas essas características compõem o que ficou conhecido como QPA, com todas as suas contradições e complexidades. Dessa forma, explicitam-se as intersecções da QPA com a História Natural: suas práticas materiais próprias, e o fato de ser uma cultura pluricentrada, no sentido que não havia uma espinha dorsal conduzindo e organizando toda a disciplina, uma vez que ela era composta de tradições diversas. Nos concentraremos agora em discutir um pouco sobre como estas tradições de pesquisa da QPA vão se alterando e formando uma nova cultura em que os objetos de pesquisa, as metodologias, formas de classificar, práticas experimentais e o arcabouço teórico que as subjazem, também, se alteram. Entender este *milieu* é fundamental para perceber como o episódio da síntese do éter etílico se coloca na história da química orgânica. Isso porque após 1830, a síntese orgânica, o uso de fórmulas berzelianas, novos sistemas de classificação e novas práticas experimentais mudam de forma profunda a paisagem do que ficou conhecido como a química orgânica dali em diante.

Iniciando pelos objetos de pesquisa, cabe apontar que a partir dos anos 1840, muitas substâncias passaram a ser sintetizadas a partir dos princípios extraídos das plantas e animais. Isso gerou uma série de reações na comunidade química da época, que tentou realocar os objetos de pesquisa da química orgânica. Se por um lado, em 1860, Berthelot afirmou que a "química cria seu próprio objeto", cabe afirmar que a novidade é que a química orgânica passou a estar dentro do "guarda-chuva" do qual Fourcroy a havia excluído. Jean Dumas, mencionado anteriormente, reafirmou em seu livro didático de 1835 a necessidade de abordar as substâncias de um ponto de vista puramente químico, isto é, ele propôs a exclusão do estudo de processos fisiológicos das plantas, limitando a química orgânica aos produtos das substâncias provenientes do mundo orgânico ou das obtidas através da transformação destas. O significado de "orgânico" alterou-se, então, para um novo referente, que inclui o artificial. Essa ideia foi reforçada, em 1844, pelo químico francês Charles Gerhardt (1816-1856) ao afirmar que se todos os compostos orgânicos pareciam ter em comum a presença de carbono, logo a química orgânica deveria ser a química do carbono. Tal definição para a química orgânica foi seguida por Friedrich August Kekulé (1829-1896), Carl Schorlemmer (1834-1892), Alexander Butlerov (1829-1886), entre outros (KLEIN, 2003). Essa expressão é utilizada até hoje muitas vezes para se referir à química orgânica.

Quanto à classificação das substâncias, as dificuldades em relação ao sistema que tomava emprestado da História Natural nichos classificatórios, como classe, gênero e espécie, levaram à busca de novas bases para um sistema de classificação das substâncias orgânicas. Nas bases desse novo sistema estavam a indiferenciação entre os compostos extraídos diretamente das plantas e os compostos sintetizados em laboratório e, ainda, a utilização de critérios como a composição e constituição das substâncias, o que por sua vez estava intimamente articulado com a utilização de fórmulas químicas como “ferramentas do papel” e com o cruzamento entre análise elementar e imediata. Essa utilização de fórmulas químicas estava ligada ao terceiro aspecto que difere a química orgânica da QPA, relacionado às práticas experimentais performadas nos dois períodos. Enquanto na QPA os métodos de extração e análise predominavam, na química do carbono o predomínio estava no estudo das reações com os compostos orgânicos e na síntese de novas substâncias, tornando, para esse segundo caso, o laboratório o locus privilegiado do químico orgânico. E, assim, retirou-se desse processo a centralidade do ambiente natural.

É neste complexo ambiente de mudança que ocorrem as pesquisas para a síntese do éter a partir do álcool no início do século XIX, que exploraremos na próxima seção. Com este pequeno recorte sobre a vasta história da investigação de substâncias químicas derivadas do álcool no início do século XIX pretendemos explorar como a QPA se transformou em “química do carbono” e o que esteve envolvido nessa mudança. Sendo assim, exploraremos inicialmente as contingências instrumentais para o desenvolvimento de ensaios quantitativos, a seguir, a relação entre químicos e boticários e a dinâmica social de produção e validação de conhecimento nesse contexto, e ainda o papel da linguagem nesse processo.

4.4 A síntese do éter

A história da síntese do éter no início do século XIX e fins do século XVIII começa não na química, mas na farmácia. Como vimos anteriormente, o éter era um produto de extremo interesse não só na medicina, mas na própria química, como solvente. Era um produto abundante e presença constante no inventário de químicos, farmacêuticos e médicos. A busca de novas rotas de síntese segue, então, a necessidade de produzir éter a custos menores. Isso incluía a utilização de outros ácidos que não o ácido sulfúrico e também melhorar o rendimento das reações e diminuir a incidência de

subprodutos. Cabe destacar que eram os farmacêuticos que produziam éter nessa época e forneciam a químicos acadêmicos; ou seja, métodos de obtenção do éter eram bem conhecidos embora a teoria envolvida ainda fosse obscura[63]. Conforme Klein (2003), no entanto, seria errado afirmar que os químicos acadêmicos estavam apenas interessados na teoria envolvida e que os farmacêuticos seriam os "práticos" nesse empreendimento. Os químicos acadêmicos recorrentemente pensavam nas aplicações comerciais de sua pesquisa e os farmacêuticos buscavam os resultados das pesquisas acadêmicas para utilizar em suas atividades comerciais.

Por outro lado, embora a motivação econômica estivesse presente, é importante lembrar que o mecanismo de formação do éter a partir do aquecimento de álcool e ácido sulfúrico não era, ainda, bastante conhecido no final do século XVIII (PARTINGTON, 1962), conforme reconhecem Antoine François de Fourcroy (1755-1809) e Louis-Nicolas Vauquelin (1763-1829) na abertura de seu artigo de 1797:

> "A preparação do éter é uma operação farmacêutica complicada cujos resultados são bem conhecidos embora a teoria ainda seja obscura. Isso é demonstrado pela explicação diferente dada por cada um dos químicos que falaram dessa operação antes do estabelecimento da doutrina pneumática." (FOURCROY; VAUQUELIN, 1797) [64]

Além de reconhecer o fato de a "teoria ser obscura", chama a atenção no artigo de Fourcroy e Vauquelin a classificação da reação como uma "operação farmacêutica", o que corrobora a ideia de que a produção de éter (e o interesse por trás de seu desenvolvimento) tinha a impressão digital dos farmacêuticos. Cumpre notar que as fronteiras entre químicos e farmacêuticos eram tênues nessa época. Prova disso é a própria trajetória tanto de Vauquelin quanto de Fourcroy. O primeiro era de uma família pobre e muito numerosa, fato que o levou, aos 14 anos, a deixar sua vila e ir à cidade de Rouen trabalhar como ajudante em uma botica administrada por um farmacêutico de nome Mésaize, onde fazia atividades corriqueiras como lavar as vidrarias enquanto o boticário ministrava aulas de química – era comum àquela altura boticários ministrarem cursos livres de química (WISNIAK, 2003). Acusado de tentar aprender a profissão sem estar autorizado, Vauquelin é expulso da botica e vai para Paris, onde estudou química,

[63] Hoje sabe-se que a desidratação de álcoois com utilização de ácido sulfúrico pode levar à formação tanto de éteres quanto de alcenos (éter etílico e eteno, no caso do álcool etílico), sendo este processo muito sensível a controle de temperatura. Entender e controlar este processo era, portanto, a grande busca dos químicos da época.

[64] No original: "La preparation de l'éther est une opération pharmaceutique compliqué, dont les résultats sont aussi bien connus que la théorie en est encore obscure. On en la preuve dans l'explication différente donnée par chacun des chimistes qui a parlé de cette opération avant l'établissiment de la doctrine pneumatique."

física e botânica, aprendeu Latim, formou-se farmacêutico em 1792 e ainda teve a possibilidade de conhecer Fourcroy, por intermédio de Chéradame, boticário que o empregou e que era primo de Fourcroy. Foi um dos mentores da famosa *École Polytechnique* e professor da *École des Mines* (idem). Já Fourcroy tem origem em família mais abastada, filho de Jean-Michel de Fourcroy (1710-1783), que era dono de uma botica não muito exitosa, vindo a ser fechada pela associação de boticários. Diante das dificuldades econômicas de sua família, Fourcroy obteve ajuda financeira da *Societé Royale de Medicine* e de Felix Vicq D'Azyr (1748-1794), famoso anatomista amigo de seu pai, e assim conseguiu o título de *Docteur* na área de Medicina (WISNIAK, 2005). Fourcroy iniciou sua carreira acadêmica dando aulas de química na faculdade de medicina (mesmo antes de se formar, em 1778) e após a morte de Pierre-Joseph Macquer (1718-1784), ele assumiu a cadeira de professor de química no *Jardin du Roi* (mais tarde *Jardin des Plantes* e atualmente *Muséum National d'Histoire Naturelle*) e se tornou um eminente químico (PARTINGTON, 1962). É autor de diversas publicações, e co-autora, junto com Lavoisier, Guiton de Morveau e outros, uma das obras mais importantes do período, o *Methode de Nomenclature Chimie*. Especialmente no caso de Vauquelin, que começa como ajudante em uma botica e tem sua formação como farmacêutico, mas mesmo no caso de Fourcroy, que é filho de um boticário e nas práticas comuns naquela época, como o fato de boticários ofertarem cursos de química, é possível perceber que as fronteiras entre químicos e farmacêuticos não eram bem definidas e que, portanto, a assumpção de que químicos lidariam com um saber mais teórico e os boticários com um saber mais prático não necessariamente encontra forte lastro na história.

Fourcroy e Vauquelin tornam-se figuras importantes na história do éter porque produzem, em seu já mencionado artigo de 1797, uma teoria para a formação do éter que se tornou bastante famosa e aceita no meio químico-farmacêutico antes de 1800. Esta teoria adaptava a formação ao éter no arcabouço teórico desenvolvido previamente para as reações da química inorgânica (KLEIN, 2003). Essa teoria se baseava mais no papel desempenhado pelas afinidades do que em aspectos quantitativos da reação, e era largamente apoiada na tabela de afinidades de Geoffroy (Figura 12). O éter comum era produzido destilando-se uma mistura de ácido sulfúrico e álcool etílico reagindo a quente. A reação era bastante sensível tanto à temperatura quanto às quantidades de reagentes utilizadas e geravam diversos subprodutos também em função dessas variáveis (CAMEL, 2010). Fourcroy e Vauquelin produziram uma série de experimentos variando as condições de formação do éter e considerando as contingências da época,

especialmente ligadas à linguagem e às dificuldades experimentais de obter medidas exatas e confiáveis para todas as substâncias envolvidas na reação, propuseram uma teoria para a reação de formação do éter. Eles classificaram essa reação como sendo uma reação de deslocamento (conforme classificação da química inorgânica, à época), onde o hidrogênio e o oxigênio eram removidos do álcool pelo ácido sulfúrico, formando água, e o resto do álcool combinava-se entre si formando o éter (PARTINGTON, 1962). Essa reação acontecia na primeira de três fases da destilação. Embora na primeira fase houvesse um rigor em seguir os ditames explicativos da reação conforme padrões da química inorgânica, a formação dos subprodutos na fase final era, comparativamente à primeira fase, caótica, com diversas reações em cascata formando as demais substâncias encontradas por Fourcroy e Vauquelin ao final da reação (KLEIN, 2003).

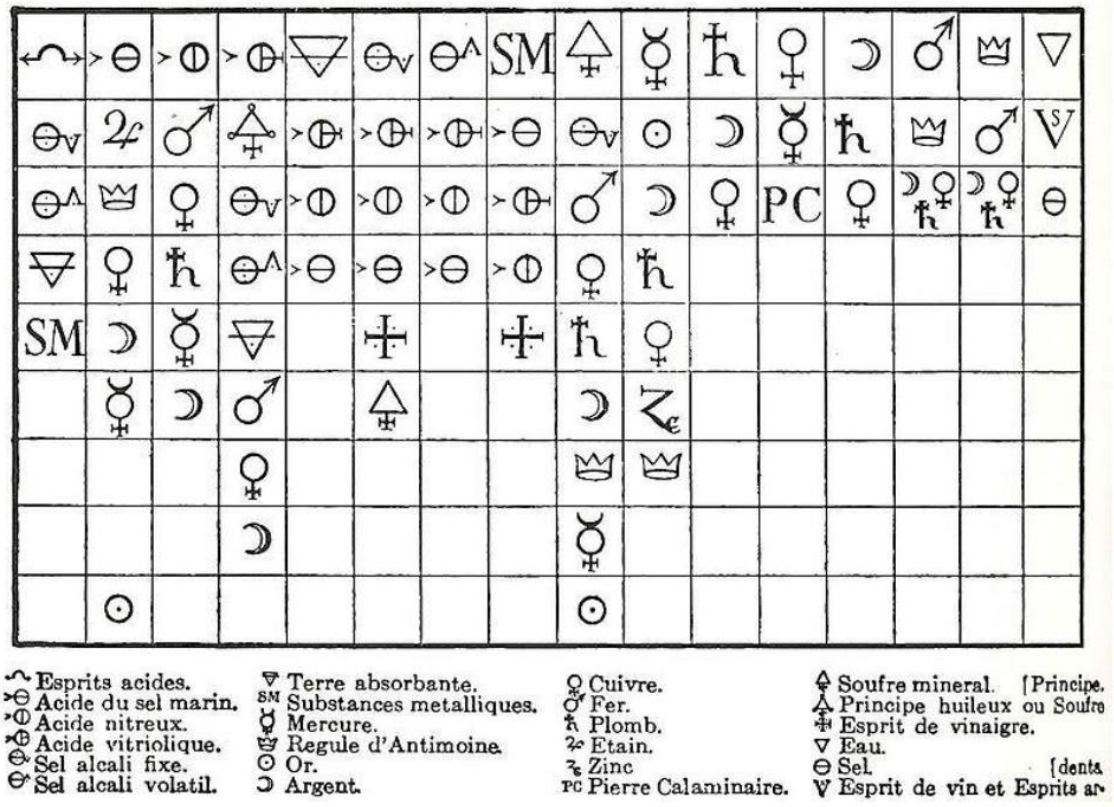
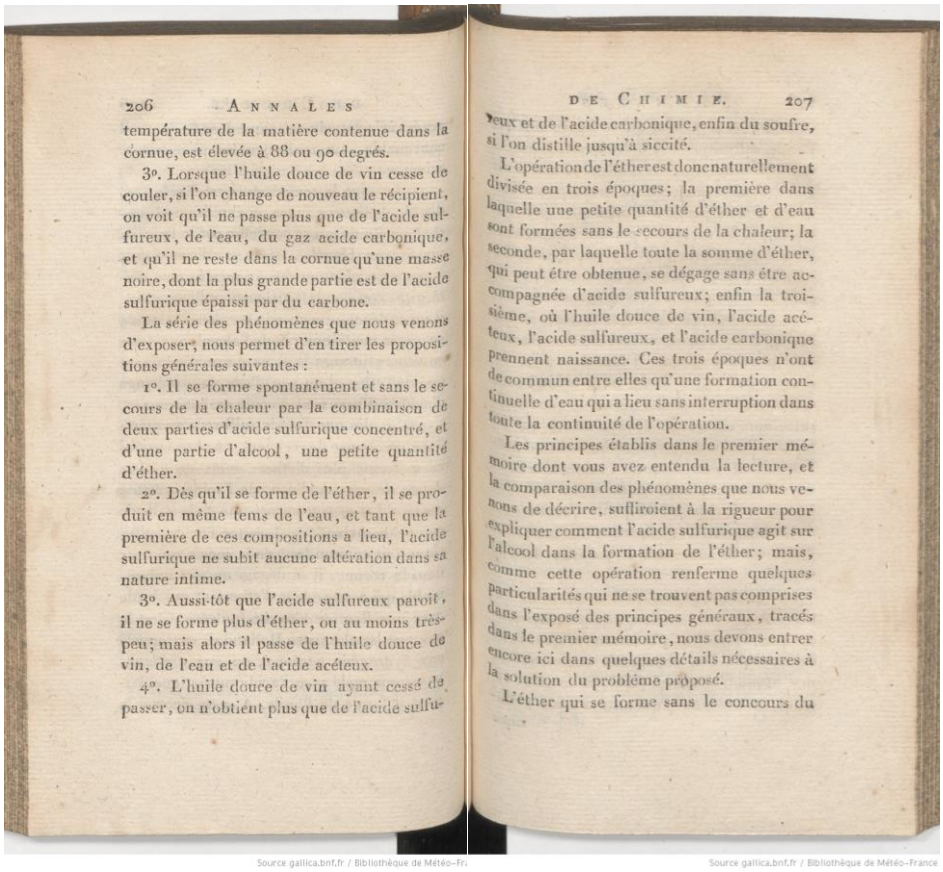


Figura 12: Tabela de Afinidades de Étienne François Geoffroy (1672-1731), de 1718. A primeira linha apresenta os 16 compostos analisados e em cada coluna estão as substâncias que reagem com a substância da primeira linha, em ordem decrescente de reatividade. Outras tabelas de afinidades foram construídas ao longo do século XVIII, porém a de Geoffroy permaneceu como modelo mais conhecido da História da Química. Fonte: Wallau (2014).

A respeito da teoria de Fourcroy e Vauquelin, falamos de duas dificuldades principais – uma relacionada aos métodos quantitativos nos experimentos e a outra

relacionada à linguagem. A respeito da linguagem, havia dois obstáculos importantes no desenvolvimento da teoria. O primeiro era a pressão exercida pelos modelos da química inorgânica sobre as explicações que deveriam ser dadas às reações da química orgânica. Qualquer explicação química, segundo a química inorgânica, deveria reconstruir as recombinações dos componentes das substâncias iniciais até os produtos da reação, incluindo os subprodutos, mesmo com a grande quantidade de subprodutos de algumas reações e, ainda, suas rotas caóticas, como vimos para o caso dos subprodutos do éter. Além disso, e talvez mais importante, essa reconstrução deveria ser feita em linguagem escrita, visto que a simbologia que hoje utilizamos para representar as reações químicas ainda não estava estabelecida naquele momento. Isso gerava laudas e laudas de explicações complexas. Na figura 13 é possível observar um excerto com uma longa descrição das reações sofridas pelo álcool para obtenção do éter comum. Hoje, a mesma reação poderia ser facilmente representada por um conjunto pequeno de equações químicas e sua simbologia. Este aspecto, ligado ao primeiro (do modelo explicativo vindo da química inorgânica), também torna complicada a descrição de reações químicas na química orgânica àquela época. Diferente da química inorgânica, na química orgânica a existência de muitas etapas nas reações torna contraproducente sua descrição em palavras. Sendo assim, algo que possivelmente não era uma questão para a química inorgânica passa a ser um obstáculo importante para o desenvolvimento da química orgânica. É importante notar, também, que às vezes o fato de levarem-se páginas e páginas para explicar uma reação deixava os leitores confusos, gerando críticas baseadas em mal-entendidos a respeito das teorias (KLEIN, 2003). Hyacinthe Dabit (1764-1808), um farmacêutico francês da região de Nantes foi mais incisivo nas críticas contra a teoria de Fourcroy e Vauquelin. Ele argumentava em favor da teoria anterior de que a formação do éter resultaria de uma reação de oxidação do álcool pelo ácido sulfúrico, este que se tornaria ácido sulfuroso. Dabit endossava essa ideia e, em particular, sua proposição de que na redução do ácido sulfúrico a sulfuroso, haveria um produto intermediário entre os dois, o que explicaria o fato de não ser possível identificar o ácido sulfuroso na primeira etapa da reação, quando se observava a formação do éter. As críticas de Dabit, no entanto, não reverberaram muito na comunidade química, em parte porque um farmacêutico de Nantes não era muito influente (KLEIN, 2003).



206 ANNALES

température de la matière contenue dans la cornue, est élevée à 88 ou 90 degrés.

3°. Lorsque l'huile douce de vin cesse de couler, si l'on change de nouveau le récipient, on voit qu'il ne passe plus que de l'acide sulfureux, de l'eau, du gaz acide carbonique, et qu'il ne reste dans la cornue qu'une masse noire, dont la plus grande partie est de l'acide sulfurique épaissi par du carbone.

La série des phénomènes que nous venons d'exposer, nous permet d'en tirer les propositions générales suivantes :

1°. Il se forme spontanément et sans le secours de la chaleur par la combinaison de deux parties d'acide sulfurique concentré, et d'une partie d'alcool, une petite quantité d'éther.

2°. Dès qu'il se forme de l'éther, il se produit en même tems de l'eau, et tant que la première de ces compositions a lieu, l'acide sulfurique ne subit aucune altération dans sa nature intime.

3°. Aussi-tôt que l'acide sulfureux paroît, il ne se forme plus d'éther, ou au moins très-peu; mais alors il passe de l'huile douce de vin, de l'eau et de l'acide acéteux.

4°. L'huile douce de vin ayant cessé de passer, on n'obtient plus que de l'acide sulfu-

DE CHIMIE. 207

reux et de l'acide carbonique, enfin du soufre, si l'on distille jusqu'à siccité.

L'opération de l'éther est donc naturellement divisée en trois époques; la première dans laquelle une petite quantité d'éther et d'eau sont formées sans le secours de la chaleur; la seconde, par laquelle toute la somme d'éther, qui peut être obtenue, se dégage sans être accompagnée d'acide sulfureux; enfin la troisième, où l'huile douce de vin, l'acide acéteux, l'acide sulfureux, et l'acide carbonique prennent naissance. Ces trois époques n'ont de commun entre elles qu'une formation continuelle d'eau qui a lieu sans interruption dans toute la continuité de l'opération.

Les principes établis dans le premier mémoire dont vous avez entendu la lecture, et la comparaison des phénomènes que nous venons de décrire, suffiroient à la rigueur pour expliquer comment l'acide sulfurique agit sur l'alcool dans la formation de l'éther; mais, comme cette opération renferme quelques particularités qui ne se trouvent pas comprises dans l'exposé des principes généraux, tracés dans le premier mémoire, nous devons entrer encore ici dans quelques détails nécessaires à la solution du problème proposé.

L'éther qui se forme sans le concours du

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque de Météo-Fr
Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque de Météo-France

Figura 13: Excerto de duas das 13 páginas do artigo de Fourcroy e Vauquelin (1797), em que descrevem as etapas, justificam e explicam em palavras todas as reações que ocorrem no processo de formação do éter. Fonte: Fourcroy e Vauquelin (1797), via Gallica.fr.

A respeito do segundo obstáculo, concernente às dificuldades experimentais para medições quantitativas, cabe considerar que no início do século XIX, antes de 1931, o aparato experimental chamado kaliapparat (Figura 14), considerado por Chamizo (2013) como um divisor de águas e o início da “Segunda Revolução Química” ainda não existia. De fato, tal instrumento promoveu grandes avanços na acurácia da determinação da quantidade de carbono nos experimentos e também no que respeita ao tempo gasto com os procedimentos já que, se antes se gastavam dias ou semanas, poderiam ser feitos em horas com o novo aparato. Segundo Holmes (apud CHAMIZO, 2013), o instrumento desenvolvido pelo alemão Justus von Liebig (1803-1873) juntamente com Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) popularizou a análise quantitativa a um nível que mesmo “mãos semi-treinadas” puderam produzir resultados significantes para a química orgânica, marcando uma transição para a gravimetria que já havia acontecido na química inorgânica. Trata-se de um objeto científico, portanto, que redesenha algumas relações de poder no fazer químico da época.

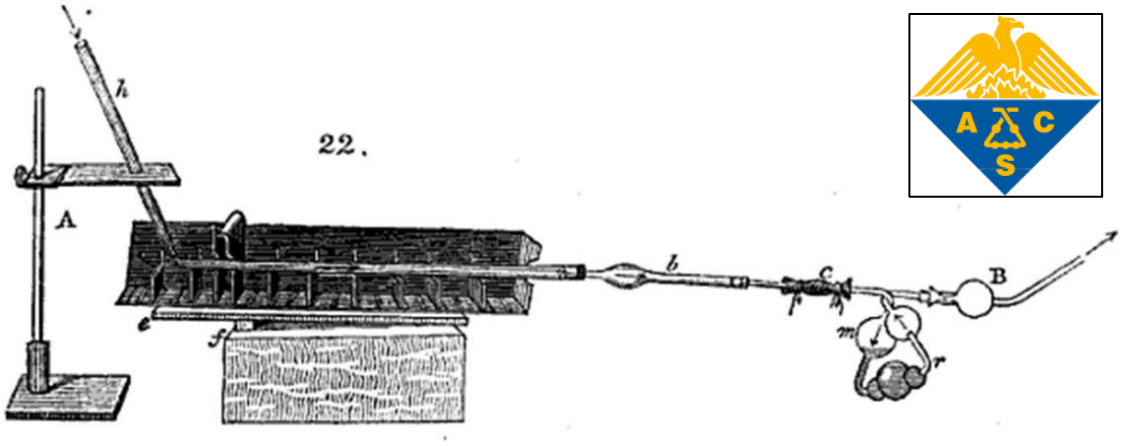


Figura 14: Na foto maior, o kaliapparat. Destaque para o vidro triangular com diversos bulbos contendo hidróxido de potássio (que é de onde vem a partícula “kali” do nome do instrumento). O logo colorido é o atual símbolo da American Chemical Society, uma das associações científicas de maior proeminência no mundo, editora de diversos dos principais periódicos de química atualmente. No triângulo inferior de cor azul é possível perceber a representação do kaliapparat. Fontes: Chamizo (2013) e ACS.org.

Mesmo com esses obstáculos, as pesquisas para novas rotas de formação do éter continuaram. Fourcroy menciona em seu livro didático que seria possível produzir éter usando outros ácidos diferentes do ácido sulfúrico e que os éteres produzidos por esses métodos seriam variações do mesmo éter e não espécies diferentes[65] (KLEIN, 2003). Anos depois, um estudante de Fourcroy e Vauquelin, Louis-Jacques Thenard (1777-1857) tomou essas considerações e resolveu verificar experimentalmente a afirmação de seu mentor. Para isso, realizou repetidos experimentos reagindo álcool com ácido nítrico, ácido muriático, ácido muriático oxidado (mais tarde, cloro) e ácido acético. Concluiu que, de fato, haviam diferentes espécies de éter. Entre 1807 e 1809, Thenard apresentou seus trabalhos com álcool e diferentes ácidos, além de outras substâncias derivadas de plantas e animais, todos na *Societé d’Arcueil* (CAMEL, 2010).

Conforme Crosland (1992), a *Societé d’Arcueil* era um círculo de cientistas franceses que se reuniu regularmente nos fins de semana entre 1801-2 e início da década de 1820, inicialmente na casa de campo de Berthollet, que ficava em um pequeno vilarejo ao sul de Paris, chamada Arcueil. Apesar da palavra sociedade em seu nome, funcionava mais como um tipo de clube informal (um “*salon*”) onde cientistas se

[65] Conforme Wizniak (2002), o termo éter era utilizado para os líquidos sintetizados através de destilação de misturas de álcoois e ácidos. Era também conhecido por suas propriedades organolépticas como o cheiro característico e propriedades químicas e físicas, como inflamabilidade e volatilidade. Hoje, sabe-se que algumas dessas substâncias formadas nesse tipo de reação são, na realidade, ésteres ou derivados alquílicos como halogeno-alcanos.

reuniam e discutiam os resultados de suas pesquisas, e se dedicavam a construir relações pessoais com outros cientistas e pessoas importantes do *milieu* social, muitas vezes em busca de patrocínio para suas pesquisas. Participavam dela importantes nomes da ciência da época como Gay-Lussac, Laplace, Berthollet, entre muitos outros, porém também assistentes de pesquisa, pesquisadores convidados, entre outros. É notável, por exemplo, que entre 1822 e 1828, seis dos sete eleitos para mandatos anuais como presidentes da Academia de Ciências de Paris haviam participado da Sociedade de Arcueil (CROSLAND, 1992), mostrando que tal sociedade possuía certa influência na política científica da época. Além de tudo, é interessante notar nesta prática de organizar e frequentar salons, pelos relatos de Crosland (1992), alguns traços da cultura da época que aparecem de forma mais clara. O autor menciona o fato de Berthollet e Laplace presidirem a Sociedade de Arcueil, "algumas vezes com suas esposas" (p. 45), ainda em outra ocasião, foi a vez de Jean-Baptiste Dumas ter sido convidado para participar de salons promovidos por Alexandre Brongniart e, assim, acabar "casando com alguém da família Brongniart" (p.45) ou, ainda mais explicitamente: "geralmente nestes salons havia a presença de moças, reforçando a ocasião como um evento social" (p. 47). Todos estes apontamentos convergem para deixar claro a posição subalterna ocupada pela mulher nos espaços científicos e sociais da sociedade francesa daquela época. Apesar de ser um espaço social, Crosland (1992) deixa claro que estes espaços eram mais do que isso:

> "Primeiro, há o problema para posicionar o salon científico e de entender o que acontecia nessas situações sociais. Se em um extremo um salon era inteiramente de natureza social, então se poderia argumentar que era irrelevante para a ciência. Assim, as reuniões de quinta-feira à noite no início de 1800 na casa de Madame Lavoisier, onde tocava-se música, deveriam ser de pouco interesse, embora os jantares que ela oferecia fossem muito seletivos e entre os convidados fossem incluídas pessoas como Berthollet, Cuvier e Humboldt. Se, de outro lado, a ocasião fosse puramente científica, então esta deveria ser considerada uma sociedade científica em vez de um salon."[66] (CROSLAND, 1992: 44)

O que Crosland aponta nesse trecho é a natureza híbrida e a complexidade desses espaços, que nem bem eram totalmente ocasiões científicas, nem ocasiões puramente sociais. Novamente aqui, a tendência dicotômica do pensamento moderno

[66] No original: "First there is the problem of identifying the scientific salon and of learning something of what transpired on these social occasions. If at one extreme a salon was entirely social in nature, then it could be argued that it was irrelevant to science. Thus the Thursday evening gatherings in the early 1800s in the house of Madame Lavoisier, where music was played, may be of little interest although the dinners she held were more selective and guests included Berthollet, Cuvier and Humboldt. If on the other hand the occasion was purely scientific, then it should be considered as a scientific society rather than a salon."

atrapalha o entendimento das hibridações possíveis entre os espaços. Outros indícios apontados pelo autor (e.g. a lista de presidentes da Academia de Ciências de Paris que foram da Sociedade de Arcueil) ajudam a apontar o quão exitosos eles eram em sua tarefa de realizar a política científica. Apesar de um certo grau de informalidade, a *Societé d'Arcueil* publicou 3 volumes dos *Mémoires de Physique et de Chimie de la Societé d'Arcueil*, nos anos de 1807, 1809 e 1817, e possuía relevância nos circuitos de validação científica da época. Diversos trabalhos fundamentais para a síntese do éter foram publicados por Thenard na edição de 1807 desta publicação, como veremos à frente.

Louis-Jacques Thenard era filho de fazendeiros no interior da França, que, ainda jovem, foi estudar fora da cidade. Após a revolução, continuou seus estudos em Paris, onde teve aulas com Fourcrouy e Vauquelin, seguindo os estudos farmacêuticos. Tornou-se assistente de laboratório do último, e atuou por três anos nessa função. Após isso, foi apontado como professor assistente de Fourcroy na École Polytechnique, onde além de ganhar um salário que o permitia se manter, teve à sua disposição um laboratório para conduzir suas próprias pesquisas (WIZNIAK, 2002). Thenard investigou, no início do século XIX, os produtos da reação entre ácido nítrico e álcool. Seu objetivo era verificar a afirmação de Fourcroy a respeito da natureza dos éteres que se formariam com a utilização de ácidos variados. Após a destilação da mistura, Thernard obteve uma substância líquida, que ele identificou como uma mistura de água, uma substância desconhecida, álcool e ácido nítrico, essas duas últimas substâncias remanescentes dos reagentes que não reagiram totalmente. Além disso, também observou a formação de um gás, que levou a análise posterior (WISNIAK, 2002). Tanto o gás quanto o líquido possuíam odor parecido com éter, porém não se tratavam de substâncias puras, já que após análise de seus componentes Thenard notou que não possuíam proporções fixas. Ele, no entanto, conseguiu isolar o éter gasoso e observou que, de fato, era diferente do éter comum, já que suas proporções foram de 16,41% de Nitrogênio, 39,27% de carbono, 34,73% de oxigênio e 9,59% de hidrogênio (*idem*). Esse resultado, vale lembrar, contradizia Fourcroy. Thernard afirmou que, depois de repetidas medições de amostras diferentes, obteve resultados idênticos, o que, segundo ele, confirmava a exatidão dos experimentos (KLEIN, 2003).

Além de ir de encontro a Fourcroy, as conclusões obtidas por Thenard também contrariavam as interpretações de um grupo de químicos holandeses sobre experimentos similares, para os quais o resultado da experiência não seria um tipo novo

de éter, mas sim uma mistura de éter comum com ácido nítrico gasoso. Em seu artigo, Thenard (1807) faz o seguinte comentário a respeito do estudo dos químicos holandeses:

> "É evidente que os procedimentos que foram publicados sobre a preparação do éter nítrico são todos defeituosos. Sem falar do perigo de que muitos são inseparáveis e do tempo que eles exigem para serem postos em prática, direi que não há nenhum que dê éter puro; (...) Se agora examinarmos tudo o que os químicos holandeses fizeram sobre o gás etéreo, convenceremos a nós mesmos, pelo menos eu acredito, que alguns de seus experimentos são imprecisos e que, de quase todos, eles derivam consequências errôneas."[67] (THENARD, 1807: s/p)

Também em janeiro de 1807, Guyton de Morveau, Vauquelin e Berthollet, em artigo conjunto, publicam um comentário na revista *Annales de Chimie* sobre o trabalho de Thenard, considerando que este apresenta "muitos fatos novos e análises muito delicadas" (MORVEAU; VAUQUELIN; BERTHOLET, 1807: 290). Cabe lembrar que os três autores do comentário também faziam parte da Sociedade de Arcueil e ainda que, segundo Klein (2003), estes viam a quantificação e precisão das medidas como dois dos principais objetivos, o que endossa a importância que o argumento quantitativo passa a ter dez anos após a publicação de Fourcroy e Vauquelin, na qual esse aspecto ainda não era uma grande preocupação. Algo também notado por Klein (2003) são os novos sinais de esgotamento da linguagem para representar as reações químicas, que, conforme a complexidade das reações, tornava-se uma tarefa ainda mais difícil de ser executada, como comentamos anteriormente.

Paralelamente aos trabalhos de Thenard, apresentados na Sociedade de Arcueil, um farmacêutico parisiense chamado Pierre-François Guillaume Boullay (1777-1869) publicou resultados de pesquisa similar, endossando os achados de Thenard sobre a formação de éteres. Pierre Boullay, que viveu 92 anos (o que era notável para a época, visto que seu filho Félix-Polydore Boullay (1806-1835), por exemplo, morreu aos 29, vítima de acidente decorrente da manipulação de éter), foi um farmacêutico bastante conhecido, descendente de uma respeitada família da época. Começou na mesma botica que Vauquelin, a de Mésaize, em Rouén, e atuou em outras boticas até que foi admitido no laboratório de Vauquelin. Aos 20 anos ganhou seu primeiro prêmio

[67] No original: "Il est évident que les procédés qui ont été publiés sur la préparation de l'éther nitrique sont tous défectueux. Sans parler du danger dont plusieurs sont inséparables, et du tems qu'ils exigent pour être mis en pratique, je dirai qu'il n'en est aucun qui donne de l'éther pur; (...) Si maintenant nous examinons tout ce qu'ont fait les chimistes hollandais sur le gaz éthéré, nous nous convaincrons, du moins je le crois, que quelques-unes de leurs expériences sont inexactes, et que de presque toutes ils tirent des conséquences erronées."

de química, da Escola de Farmácia. Participou de várias sociedades, como a *Societé de Pharmacie* e *Académie de Médicine*, ajudou a fundar o *Bulletin de Pharmacie*, que depois se tornou o *Journal de Phamacie et de Chimie* (WIZNIAK, 2014). Em seus experimentos com o éter nas primeiras décadas de 1800, a questão quantitativa passava a ser importante para os argumentos que defendia, sobrepujando os tipos de argumento anteriores, baseados nas afinidades (KLEIN, 2003). O caminhar em direção à matematização – e, portanto, à quantificação como marcador importante para identificação dos compostos e validação do rigor dos experimentos – parece estar de acordo com uma tendência de evitar explicações metafísicas para fenômenos naturais que começa a se consolidar no século XIX, especialmente na França, com a ascensão do positivismo comteano e a indução promovida pela física como ciência-modelo na época.

Apesar disso, é notável no trabalho de Thenard uma série de lacunas no que concerne aos aspectos quantitativos da reação que descreve. Para seguir os ditames da química inorgânica, todos os reagentes iniciais e produtos (e reagentes que remanesceram na reação) deveriam ser pesados e identificados separadamente. Uma grande dificuldade dos experimentos da química orgânica era justamente isolar substâncias a partir de misturas (especialmente as líquidas) sem que houvesse nenhuma perda. Havendo perdas, estaria comprometida a precisão quantitativa. Seguindo sua rota de reações para formação do éter, Thenard reporta que a reação entre ácido muriático e álcool levara à formação de apenas dois produtos: éter muriático e água. Isso era surpreendente se comparado aos diversos produtos obtidos nas reações para formação dos demais éteres. Usando dados quantitativos de Nicolas Théodore de Saussure (1767-1845) a respeito da composição do álcool, Thenard realiza experimentos para determinar a composição do éter muriático e, assim, comparar com o álcool de origem. Como nas demais tentativas de determinar quantitativamente a composição de substâncias, os resultados não possuíam precisão suficiente para chegar a conclusões cabais sobre o experimento (KLEIN, 2001). Por esse motivo, Thenard mantinha-se cauteloso no que se refere a realizar comparações entre a reação de formação do éter muriático e os modelos de formação de sais inorgânicos (KLEIN, 2003). O farmacêutico Pierre Boullay, no entanto, não tinha a mesma cautela e, no mesmo ano que Thenard publica seus artigos sobre o tema, Boullay também publica artigo na revista Annales de chimie, relacionado a palestra que houvera proferido na Academia de Ciências de Paris. Neste artigo, afirma, com uma certa ironia, discordar

daquele “hábil químico”[68] (BOULLAY, 1807), pois tendo decomposto os éteres acético e muriático em seus respectivos álcoois e ácidos de origem, podia afirmar que estes eram compostos análogos aos sais inorgânicos, ou seja, obedeciam aos mecanismos de reação parecidos. Depois disso, seguiram-se experimentos realizados por Boullay e Thenard que estreitavam a relação entre a química inorgânica e orgânica, a partir das similaridades das reações obtidas nos dois campos de estudo. Boullay usou diversos ácidos de origem vegetal, obtendo, com sucesso, novos éteres. Já Thenard realiza a síntese da cânfora artificial, quando antes acreditava-se que este era um produto da decomposição do óleo de terebintina, obtido diretamente das plantas (KLEIN, 2003). Além dos dois, o químico suíço De Saussure formulou um engenhoso experimento que, dividindo a reação de formação do éter em diversas pequenas etapas de destilação, conseguia obter com mais precisão as quantidades envolvidas na reação. Mesmo assim, seus resultados também eram apenas aproximações (*idem*). Priesner (1986), no entanto, considera essa a primeira análise quantitativa de um composto orgânico.

Ainda na trilha de investigação da reação dos éteres, em 1794, um grupo de químicos holandeses foi responsável por resultados de pesquisa que perturbariam ainda mais a fronteira entre a química inorgânica e a química orgânica e cujos resultados seriam reativados anos depois na resolução de problemas qualitativos e quantitativos na síntese dos éteres. Era bastante conhecido pelos químicos do período que a destilação de álcool e ácido sulfúrico produzia um gás que, com alguma frequência, causava explosões do aparato de destilação e possuía uma propriedade curiosa para a época, qual seja: ao reagir com ácido muriático oxidado (cloro), a mistura “começava a diminuir de tamanho (...) gotas de um óleo espesso, com a cor de pérola, apareciam na superfície.” (DEIMAN *et al apud* KLEIN, 2003). Por conta desse efeito, o gás foi chamado de gás olefiante. Três anos depois, Fourcroy expressa na revista *Annales de Chimie* as importantes consequências do experimento:

> “O que é muito importante sobre esse estudo para a teoria geral da ciência é a nova perspectiva que traz sobre a formação do óleo; (...) sobre a natureza e a composição de substâncias oleaginosas; (...) então, está no caminho de alcançar a composição artificial do óleo. Parece que para fabricá-lo artificialmente, não há necessidade de material vegetal, mas apenas gás hidrogênio carbonado (...) misturado com ácido muriático oxidado gasoso e pode-se esperar a produção desse gás olefiante com materiais minerais, que são carbonados.” (FOURCROY, 1797: 69-70)

[68] Boullay usa a expressão “habile chemiste”. A expressão “habile” pode ser traduzida como hábil, inteligente, esperto, etc. De toda forma, denota ironia, como nota Klein (2003).

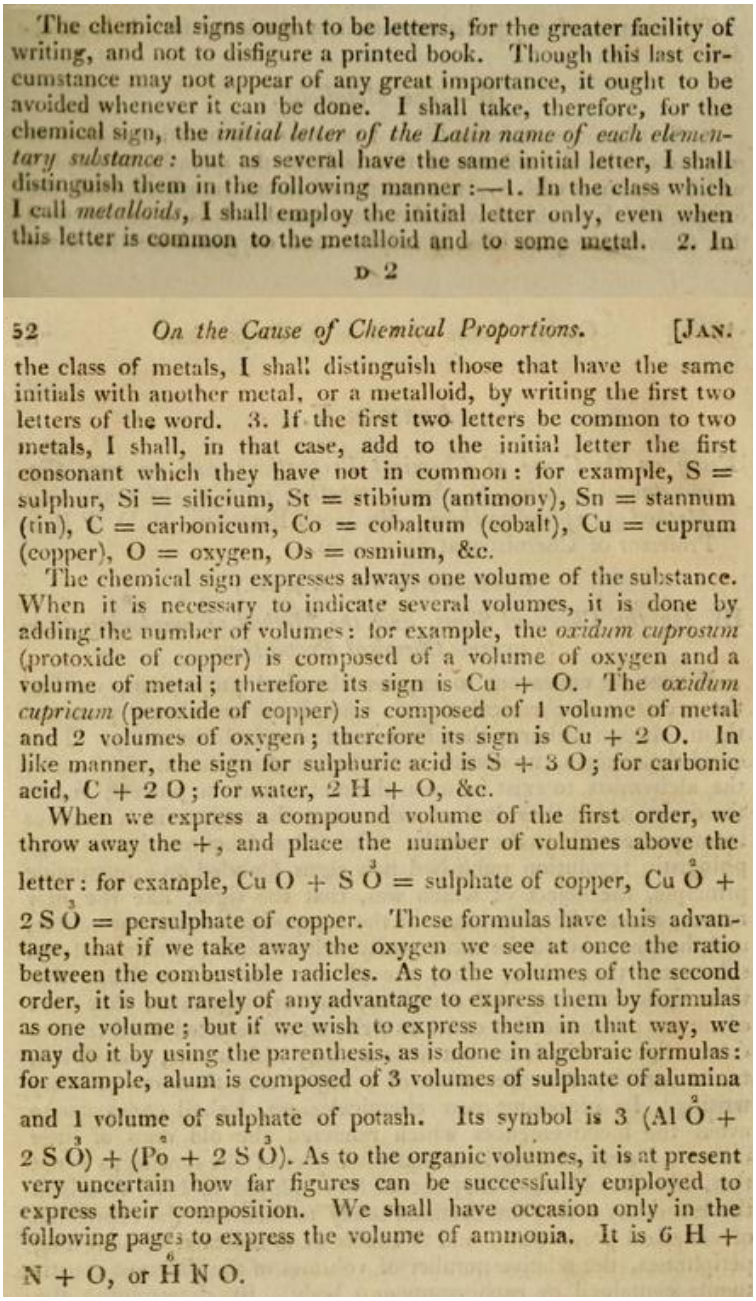
Ou seja, óleos, que eram objetos típicos da agenda da QPA passam a ser sintetizados por processos artificiais, o que desafia a ordem química da época e tem consequências para a representação das reações químicas orgânicas anos mais tarde. No início do século XIX, De Saussure, Vauquelin e Gay-Lussac confirmam os resultados obtidos pelos químicos holandeses. O trabalho quantitativo de De Saussure envolvendo o gás olefiante e os álcoois possui uma inovação que produziu repercussões. Em 1814, De Saussure propõe que a composição de álcoois e éteres seja representada em termos de água e gás olefiante. Assim sendo, 100 partes de éter comum poderiam ser representados como 80,05 partes de gás olefiante e 19,95 partes de água, enquanto 100 partes de álcool podiam ser representadas por 61,13 partes de gás olefiante para 38,87 partes de água (CAMEL; FILGUEIRAS, 2013). Essa forma diferente de representar a composição das substâncias leva também a considerações teóricas diferentes das que haviam até então. No mesmo estudo, de Saussure afirma:

> "Uma vez que o álcool é representado por gás olefiante, combinado com uma quantidade de água em peso que é aproximadamente metade da quantidade deste gás - enquanto o éter é composto de gás olefiante unido com água tendo um quarto do peso (do gás olefiante) – e o gás olefiante não contém nenhuma água, a ação do ácido sulfúrico sobre o álcool para forma éter ou gás olefiante torna-se óbvia: em ambos os casos é restrita a retirar a água essencial do álcool." (DE SAUSSURE apud KLEIN, 2003).

Para fazer tal afirmação e em seu estudo como um todo, De Saussure não assume entidades como equivalentes, porções e pesos atômicos, no entanto, ele pressupunha que o gás olefiante era preservado na reação, qualitativa e quantitativamente; fazendo isso, ele comprometia-se com a ideia de que o gás olefiante, na realidade, seria um "constituinte imediato" do álcool e do éter comum, e, assim, ambas substâncias seriam compostos binários, o que contradiz resultados anteriores, que davam conta de que tanto água quanto o carbono eram liberados na reação. Além disso, tais hipóteses são subdeterminadas por evidências empíricas, como nota Klein (2003). Um ano depois, em 1815, Gay-Lussac, aplicando a lei dos volumes de sua autoria e usando as densidades de ambos os compostos, transforma as proporções obtidas por De Saussure em volumes, obtendo a proporção de 1 volume de gás olefiante : 1 volume de água, no caso do álcool, e 1 volume de gás olefiante : ½ volume de água, no caso do éter comum (CAMEL; FILGUEIRAS, 2013). Nesse ponto da história, Jacob Berzelius, autoridade inquestionável nas primeiras décadas do século XIX, responde a essa série de experimentos e resultados rejeitando a ideia de que os compostos orgânicos pudessem ser "compostos binários." Esta era a opinião comum fora da França

nesse período. Apenas após 1833 Berzelius aceitou essa proposição (*idem*). Outro fato que coloca em xeque a teoria de Fourcroy e Vauquelin (de formação do éter pela simples remoção de água do álcool) é a identificação do ácido sulfovínico (hoje, sulfato de etila) como um intermediário da reação de formação do éter comum a partir do álcool e ácido sulfúrico. O argumento de um intermediário sulfonado na reação já havia sido aventado anos antes por Dabit, o farmacêutico de Nantes, que, no entanto, não tinha muito prestígio e não foi levado em consideração no curso principal da história. Este "novo" fato motiva uma publicação anônima nos *Annales de Chimie* em 1820 afirmando que a teoria de Fourcroy e Vauquelin estava errada. Análises atribuem a Gay-Lussac a publicação anônima, já que ele editava a publicação juntamente com François Arago (1786-1853) (*idem*).

Em 1827, os jovens Félix-Polydore Boullay, filho de Pierre Boullay, e Jean-Baptiste Dumas publicam um artigo que lida com parte dos problemas relacionados à síntese do éter nos anos precedentes. Por meio de uma revisão bibliográfica de como os que os antecederam haviam lidado com a questão, apontam o problema: a teoria do éter de Fourcroy e Vauquelin vinha sendo corroborada por análises quantitativas (que nem sempre eram confiáveis, como vimos), até que a descoberta do ácido sulfovínico pôs em questão a teoria proposta pela dupla em 1797. A tarefa agora era, então, propor um novo modelo para interpretar a reação que contemplasse os novos elementos empíricos. Eles cumpriram essa tarefa com a utilização das fórmulas químicas propostas por Berzellius em 1813. Estas guardam alguma semelhança com as fórmulas que hoje utilizamos como ferramentas de representação e produção na química. A seguir, na figura 15, um excerto que explica a utilização das fórmulas, em artigo de 1814 na revista *Annals of Philosophy*.



The chemical signs ought to be letters, for the greater facility of writing, and not to disfigure a printed book. Though this last circumstance may not appear of any great importance, it ought to be avoided whenever it can be done. I shall take, therefore, for the chemical sign, the *initial letter of the Latin name of each elementary substance*: but as several have the same initial letter, I shall distinguish them in the following manner:—1. In the class which I call *metalloids*, I shall employ the initial letter only, even when this letter is common to the metalloid and to some metal. 2. In

D 2

52 *On the Cause of Chemical Proportions.* [JAN.

the class of metals, I shall distinguish those that have the same initials with another metal, or a metalloid, by writing the first two letters of the word. 3. If the first two letters be common to two metals, I shall, in that case, add to the initial letter the first consonant which they have not in common: for example, S = sulphur, Si = silicium, St = stibium (antimony), Sn = stannum (tin), C = carbonicum, Co = cobaltum (cobalt), Cu = cuprum (copper), O = oxygen, Os = osmium, &c.

The chemical sign expresses always one volume of the substance. When it is necessary to indicate several volumes, it is done by adding the number of volumes: for example, the *oxidum cuprosum* (protoxide of copper) is composed of a volume of oxygen and a volume of metal; therefore its sign is Cu + O. The *oxidum cupricum* (peroxide of copper) is composed of 1 volume of metal and 2 volumes of oxygen; therefore its sign is Cu + 2 O. In like manner, the sign for sulphuric acid is S + 3 O; for carbonic acid, C + 2 O; for water, 2 H + O, &c.

When we express a compound volume of the first order, we throw away the +, and place the number of volumes above the letter: for example, Cu O + S $\overset{3}{O}$ = sulphate of copper, Cu $\overset{2}{O}$ + 2 S $\overset{3}{O}$ = persulphate of copper. These formulas have this advantage, that if we take away the oxygen we see at once the ratio between the combustible radicles. As to the volumes of the second order, it is but rarely of any advantage to express them by formulas as one volume; but if we wish to express them in that way, we may do it by using the parenthesis, as is done in algebraic formulas: for example, alum is composed of 3 volumes of sulphate of alumina and 1 volume of sulphate of potash. Its symbol is 3 (Al $\overset{2}{O}$ + 2 S $\overset{3}{O}$) + (Po $\overset{2}{}$ + 2 S $\overset{3}{O}$). As to the organic volumes, it is at present very uncertain how far figures can be successfully employed to express their composition. We shall have occasion only in the following pages to express the volume of ammonia. It is 6 H + N + O, or $\overset{6}{H}$ N O.

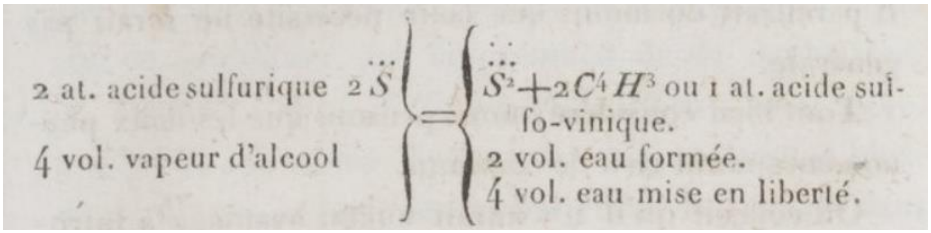
Figura 15: Excerto de artigo de 1814 de Berzellius com as regras gerais para utilização de fórmulas químicas. Fonte: Berzellius (1814).

Seguindo a trilha de De Saussure e Gay-Lussac, especialmente do segundo, que implementou a transformação da composição em peso para a composição em volumes, Dumas e F. Boullay[69] fizeram novos experimentos quantitativos para determinar a composição do éter comum e do álcool, confirmando resultados prévios de

[69] Usaremos F. Boullay em referência a Félix-Polydore Boullay, isto é, o filho de Pierre Boullay

De Saussure e Gay-Lussac. A novidade é que eles também procedem à análise quantitativa do ácido sulfovínico e do óleo doce de vinho[70], determinando suas composições. De posse dessas composições, os autores propõem a separação da rota reacional em duas reações paralelas e independentes, conforme excerto a seguir de seu texto:

A teoria da formação do éter é muito simplificada pelo seguinte fato: o ácido e o álcool dividem-se em duas partes, uma das quais forma o óleo doce de vinho e o ácido hipossulfúrico bem como uma certa quantidade de água nas proporções a seguir:



As outras porções de ácido e álcool reagem entre si fornecendo ácido diluído e éter.

Figura 16: Esquema de Dumas e F. Boullay para representar a ocorrência de duas reações em paralelo[71]. Fonte: Dumas e Boullay (1827: 305)

Concordando com Gay-Lussac, ainda, era proposto que a formação de óleo doce de vinho e ácido hipossulfúrico ao final da reação, por uma das rotas, era decorrente do decaimento do ácido sulfovínico, que seria, portanto, um intermediário da reação. Ao final do artigo, eles representam a reação de formação do ácido sulfovínico[72] e fornecem uma tabela com as representações usadas para os diversos componentes envolvidos na reação, conforme figuras 17 e 18.

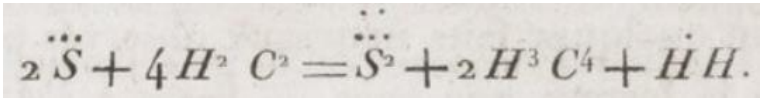


Figura 17: Reação de formação do ácido sulfovínico. Note-se que em vez de representar o álcool, mostra apenas seu constituinte imediato H^2C^2. Legendas não estão presentes no original. Fonte: Dumas e Boullay (1827: 310)

[70] Conforme Camel e Filgueiras (2013): "As observações feitas por Hyacinthe Dabit (1764-1808), de que durante a eterificação formava-se um ácido, foram investigadas pelos farmacêuticos Heinrich August Vogel (1778-1867) e Friedrich W. A. Sertürner (1783-1841), e por Gay-Lussac, que repetiram o experimento e confirmaram que um produto, além do éter comum, se formava na reação do álcool com o ácido sulfúrico. Com a descoberta do acido sulfo-vínico e do óleo doce de vinho, ambos vistos como produtos da reação, tornou-se evidente que o processo de eterificação não era tão simples que pudesse ser explicado somente em termos da desidratação do álcool."

[71] Na notação usada berzeliana usada por Dumas e F. Boullay, os pontos acima de cada letra significam oxigênios. Sendo assim, o símbolo "S⋯" em "2 at (atomes) acide sulfurique 2 S⋯" significa SO^3, na notação não-simplificada de Berzellius.

[72] Dumas e F. Boullay não apresentam o modelo de formação do éter usando as fórmulas de Berzellius, mas apenas do ácido sulfovínico, que reproduzimos.

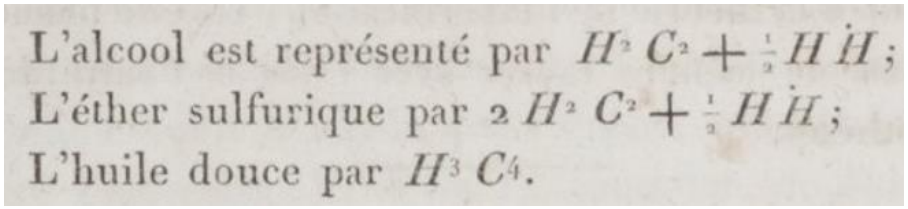

L'alcool est représenté par $H^2 C^2 + \frac{1}{2} H\dot{H}$;
L'éther sulfurique par $2\,H^2 C^2 + \frac{1}{2} H\dot{H}$;
L'huile douce par $H^3 C^4$.

Figura 18: Representação das diferentes substâncias envolvidas na reação de formação do éter. Fonte: Dumas e Boullay (1827: 309)

Após o artigo de Boullay e Dumas, ainda ocorreram algumas revisões feitas pelos próprios autores, um ano depois, e outros nomes como Theóphile J. Pelouze (1807-1867) e Johann Poggendorff (1796-1877) em 1833, Eilhard Mitscherlich (1794-1863) e Justus Liebig, em 1834, e Alexander Williamson (1824-1904) em 1850 (KLEIN, 2003), este último um conhecido nome na história da química orgânica nos livros didáticos contemporâneos no que tange as reações de formação de éteres.

Um aspecto central do trabalho de Dumas e Boullay é a presença das fórmulas berzellianas e sua manipulação como "ferramentas do papel" (com o objetivo de obter um constituinte imediato comum a vários compostos), cujo uso se populariza paulatinamente após a implementação de ambos para explicar a formação do éter, já que este foi um dos primeiros trabalhos a usar este tipo de notação (KLEIN, 2003). Além disso, Klein (2001; 2003) argumenta em favor de diferentes papéis para as fórmulas berzellianas nesse contexto que não apenas a função representacional, incluindo também o caráter preditivo e a capacidade de síntese, a relação das fórmulas com compromissos teóricos subjacentes e o papel de "visualizar" transformações com uma clareza que antes não era possível com a descrição "por extenso" das reações que estavam acontecendo em determinado experimento. De forma mais clara, Klein (2001) aponta algumas vantagens do uso de fórmulas naquele contexto, que procuraremos resumir a seguir:

- As fórmulas berzellianas continham a informação exata dos pesos necessários para ocorrer a reação, contornando os problemas com aproximações quantitativas.
- Funcionavam como uma espécie de identificador das substâncias, apresentando de forma mais clara a diferença entre elas, já que exibiam, de forma visual, sua composição e as possibilidades de recombinação para formar novos produtos, como "blocos de montar".

- As equações químicas permitiam a representação qualitativa e quantitativa das reações químicas, bem como as recombinações possíveis, facilitando o processo de imaginar rotas reacionais alternativas e estabelecer a distinção entre reações principais, reações secundárias, diminuindo a “confusão” entre as diversas reações que pudessem estar ocorrendo em um mesmo processo químico.

O último aspecto que Klein (2001) enfatiza é a utilização das fórmulas como ferramentas do papel. Ela considera a utilização das fórmulas berzellianas como ferramentas do papel na medida que estas, que são “representações e inscrições externas” ajudam a criar novas representações de objetos ou processos invisíveis, o que lembra, por exemplo, o papel cumprido pelas fórmulas matemáticas na física.

> Em sua função como ferramentas do papel, as inscrições desempenham diversas funções iguais ou similares às ferramentas de laboratório. Primeiro, para funcionar como um instrumento científico, um objeto material não pode ser considerado ele mesmo um objeto da pesquisa. Deve-se pressupor que ele funciona e que a teoria que este pode envolver e que especifica como ler tal dado ou inscrição é mais ou menos verdadeira. Este era exatamente o caso quando os químicos começaram a aplicar as fórmulas berzellianas para construir modelos na química orgânica[73]. (KLEIN, 2001: 17)

Nesse sentido, as fórmulas berzellianas encapsulavam determinadas assumpções teóricas, como o fato de que as reações orgânicas deveriam funcionar como as reações inorgânicas, isto é, a composição e rearranjo das substâncias como blocos de montar era um dado. Em contrapartida, tais fórmulas evitavam determinados compromissos teóricos que eram controversos à época, como a existência de átomos conforme proposto por Dalton. Este, aliás, também propôs um sistema de fórmulas para compostos químicos (Figura 19), porém

> “Os químicos viam esses diagramas como imagens inequívocas de átomos que não apenas transmitiam suposições sobre as porções químicas e suas propriedades relevantes (como os pesos equivalentes), mas também sobre qualidades mecânicas como tamanho e forma, das quais eles queriam se livrar.”[74] (KLEIN, 2001: 19)

[73] No original: “In their function as paper tools, inscriptions bear several features similar or equal to laboratory tools. First, in order to function as a scientific instrument, a material device must not itself be considered an object of research. It must be taken for granted that it works and that the theory which it may embody and which specifies how to read its data or inscriptions is more or less true. This was exactly the case when chemists began to apply Berzelian formulas for building models in organic chemistry.”

[74] No original: “Chemists viewed these diagrams as unambiguous images of atoms which not only conveyed assumptions about chemical portions and their chemically relevant properties (such as combining weight), but also about mechanical qualities like size and shape, which they wanted to get rid of.”

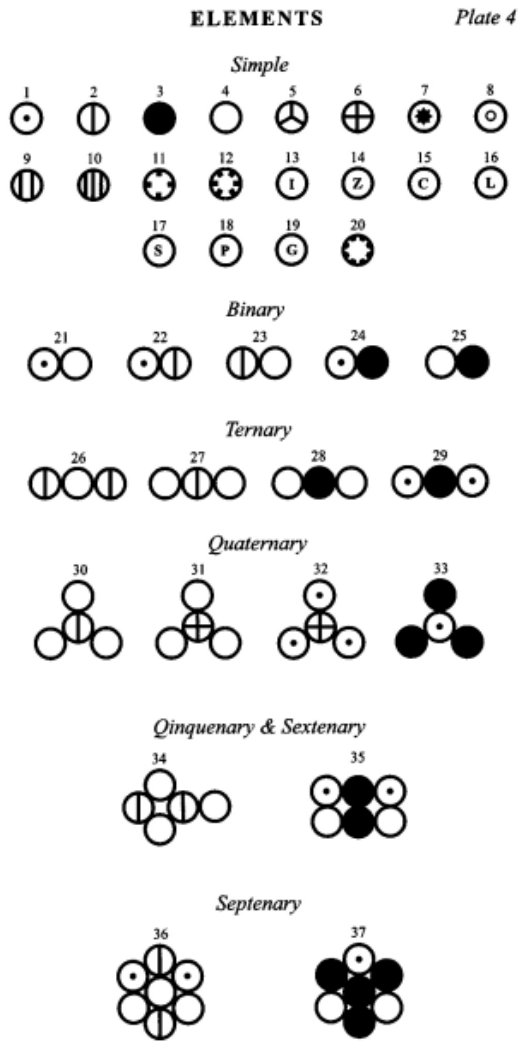


Figura 19: Fórmulas de Dalton. Fonte: Klein (2001).

Na próxima seção, abordaremos o episódio narrado sobre a síntese do éter de forma analítica, buscando seus potenciais para a Educação em Ciências e os pontos de contato com os três primeiros capítulos, onde defendemos uma abordagem cultural para a ciência.

4.5 Da História das Ciências no Ensino à História Cultural das Ciências no Ensino – ligando os fios

Conforme tratamos na introdução dessa tese, nossa motivação para o uso de História das Ciências vem da Educação em Ciências. Entendemos a História das Ciências como uma oportunidade para pôr em debate aspectos da construção do conhecimento científico que podem permitir ao estudante uma análise crítica do mundo e da própria ciência, enquanto construção humana imersa na cultura. Sendo assim, passaremos agora a uma avaliação de como os diversos aspectos do episódio histórico explorado avançam no que respeita às questões levantadas nos capítulos 1, 2 e 3, não necessariamente nesta ordem.

4.5.1 A História Cultural das Ciências como uma forma diferente de apresentar a História das Ciências no Ensino

Um dos argumentos apresentado tanto no capítulo 1 quanto no capítulo 3 diz respeito à utilização da historiografia da História Cultural das Ciências como guia para o desenvolvimento de abordagens históricas no ensino. Um questionamento válido, tendo em vista o argumento desenvolvido nos capítulos anteriores é: em que a abordagem pela HCC se diferencia das demais abordagens historiográficas ou nas abordagens cuja opção historiográfica não está explícita?

Em primeiro lugar, cabe recuperar aqui um traço comum da literatura da área de História das Ciências e ensino no que se refere a recomendações historiográficas. Desde o apaziguamento da querela internalismo vs. externalismo na História das Ciências a área de HC e Ensino têm se referido com frequência ao que chamam de "Nova Historiografia" a todo tipo de análise histórica que evita problemas como *whiggismo*, presentismo, narrativas anedóticas ou quasi-históricas, progressivismo e teleologia, entre outros. Nesse sentido, considera-se "Nova Historiografia" toda análise de estudos de caso em que se busque os significados contextualmente, isto é, tal e qual foram estabelecidos em cada momento histórico e não *a posteriori* nem *a priori*, ou seja, há um apelo ao contexto do texto histórico – texto aqui entendido em um sentido mais amplo[75]. No entanto, pacificado o fato de que existe um conjunto de prescrições mínimas sobre como fazer (e como não fazer) História das Ciências, ainda restam diferenças importantes entre diversas tendências historiográficas tanto advindas da própria História quanto da História das Ciências enquanto subdisciplina da História. A propósito, como

[75] Sobre isso, Martorano e Marcondes (2012) resumem parte das características a que atribuímos à chamada "nova historiografia" e os sentidos que ela tem assumido no Ensino de Ciências.

Lorraine Daston nota em conferência proferida por ocasião do recebimento do Dan David Prize, a História das Ciências têm sido o ramo da História de maior produção teórica e reflexão sobre si própria[76]. Sendo assim, em vez de uma orientação homogênea chamada "Nova Historiografia da Ciência", encontramos orientações como a História Social, História Cultural, História Oral, História do Tempo Presente, que vão desde tendências mais estruturalistas às pós-estruturalistas, marxistas e pós-marxistas, entre outras. Um exemplo dessa pluralidade historiográfica da História das Ciências é o posicionamento explícito de Nyhart (2016) em favor de uma História das Ciências que busque ativamente os apagamentos e aqueles que "sofreram e os que se beneficiaram" no curso da história e a recepção do livro de Bernard Lightman, *Companion to the History of Science* (livro no qual Nyhart escreve seu capítulo), por nomes famosos da História das Ciências como J. L. Heilbron. Este, em seu review sobre o livro, tece críticas à posição de Nyhart (2016) que, segundo ele, estreita a visão de História das Ciências àqueles que [sic] "dão piruetas em torno do turno 'social construcionista'" (HEILBRON, 2017: 661).

Ainda que estas discussões estejam em pleno vapor na Historiografia da História das Ciências, nós da Educação em Ciências temos a opção de "importar" ou não esse debate à nossa área. Entendo que essa decisão deve ser tomada de acordo com o que essa importação poderia possibilitar e/ou dificultar em termos curriculares e práticos para os educadores em ciências. Esta é, a propósito, uma questão que merece exame mais cuidadoso em investigações futuras. Independente disso, nossa opção nessa tese foi a de explicitar o viés historiográfico que suporta nossa narrativa histórica, com o argumento, desenvolvido principalmente no capítulo 3, de que tal abordagem possui significados para a Educação Científica que se articulam com os propósitos defendidos no capítulo 1. No capítulo 3 desenvolvemos o argumento sobre o significado da HCC no ensino, defendendo a ideia de que tal abordagem daria atenção às práticas e representações da ciência (BURKE, 2008), bem como à cultura material e visual (PIMENTEL, 2010) e aos apagamentos e assimetrias de poder (NYHART, 2016) presentes na ciência.

Os apagamentos e assimetrias de poder são ressaltados quando discutimos no texto, no caso das reuniões da Sociedade de Arcueil, a referência ao fato de as mulheres ocuparem um espaço doméstico, o que é coerente tanto com a perspectiva dos

[76] A palestra pode ser assistida no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=SDzVaBj492s>. Acessado em 01/03/2019.

apagamentos de determinados atores sociais, quanto com um traço da história cultural que “concentra sua atenção nas práticas cotidianas, buscando narrativas que destaquem padrões culturais de determinada época” (p. 130). Aliás, é exatamente essa intersecção entre o apagamento e o padrão cultural que destaca a importância de debater esse tipo de questão em sala de aula, já que os apagamentos não eram pontuais, mas destacavam o corriqueiro de determinada época. Outro exemplo em nossa narrativa foi quando destacamos a experimentação em negros – muitos deles escravizados – a respeito dos efeitos do éter, uma flagrante demonstração de racismo e de violação de direitos humanos que, longe de serem um episódio pontual, tratava-se de um traço cultural de uma época, como ressalta Washington (2008) em seus estudos sobre a medicina americana. Assim, se o objetivo da educação em ciências que propomos está relacionado à promoção da criticidade dos estudantes, pode-se questionar: que tipo de padrões culturais hoje estão presentes na ciência e que são importantes de serem discutidos? Esta questão torna-se fundamental quando percebemos que muitos desses padrões reforçam a subalternidade de diversos grupos nos meios sociais e impedem a ciência e a sociedade de serem empreendimentos verdadeiramente democráticos.

Um outro aspecto em que reativamos apagamentos e identificamos assimetrias de poder é na própria dinâmica interna da ciência. Um primeiro exemplo disso é a crítica de Dabit à teoria de Fourcroy e Vauquelin que, se em um primeiro momento não é ouvida, anos mais tarde torna-se o centro das investigações promovidas pelos químicos e farmacêuticos envolvidos com os problemas relativos à síntese do éter. Um segundo aspecto, também importante, diz respeito aos rastros deixados pelos mecanismos de validação interna que dão conta do fato de que Thenard, mesmo tendo realizado experimentos que não necessariamente possuíam o rigor que ele afirmava e ainda que não apresentasse todos os dados que sustentavam suas afirmações, teve suas conclusões validadas por nomes como Guyton de Morveau, Vauquelin e Berthollet. O ponto é que estes aspectos não desabonam os mecanismos de validação internos da ciência e nem afetam seu rigor. Cientistas inevitavelmente confiam em outros cientistas, conforme afirma Allchin (2011), e esse traço é inextricável do fazer científico. No entanto, este episódio permite discutir as assimetrias de poder que existiam e existem dentro da ciência (assim como na sociedade) e podem ajudar a identificar de forma mais clara estes circuitos de poder que existem na sociedade e, por estarem na sociedade (e por que a ciência faz parte dessa sociedade), também estão na ciência. Nesse sentido, as biografias adquirem um novo significado na análise. Diferente de abordagens

tradicionais em que explorar uma biografia pode ser um ato automático ou corriqueiro, que ocorre na primeira menção ao/à cientista, na HCC buscamos com as biografias levantar aspectos que podem iluminar essas assimetrias de poder identificadas na validação e circulação do conhecimento, mas não apenas isso. No caso de Thenard, vimos que ele se forma com Fourcroy e Vauquelin e frequenta círculos acadêmico-sociais importantes na época, que não eram frequentados por Dabit, por exemplo, nem pelos químicos holandeses que Thenard criticava em sua publicação. Outro elemento que foi pouco explorado nessa narrativa, todavia é importante, é o papel das nações ou aspectos geográficos nesses circuitos de validação. Vimos que críticas que chegavam às abordagens de Thenard, Fourcroy, Vauquelin e outros, e que acabaram sendo minimizadas pela comunidade científica, eram de fora da França ou mesmo de dentro da França, mas de fora da capital, de regiões como Nantes, no caso de Dabit. Aqui, portanto, cabem discussões sobre o papel que contingências geográficas, materiais/econômicas, familiares, entre outras, desempenham no fazer científico.

Esse tipo de discussão pode ser fundamental, especialmente em contextos do Sul Global que, historicamente, sofreram com o colonialismo e subalternidade, ou em regiões periféricas e de subúrbio dos grandes centros urbanos, regiões estas que serviram inclusive de inspiração para algumas das discussões que imaginamos promover, potencialmente, com esse episódio histórico. Cabe o comentário de que não se trata de explorar relações de causa e efeito entre, por exemplo, aspectos biográficos que favoreceram historicamente determinado pesquisador e a validação de suas pesquisas ou um veto permanente a toda e qualquer pesquisa que não fosse/seja produzida em um centro de poder como uma capital, mas sim de assumir esses aspectos como constituintes da ciência, complexificando as narrativas que produzimos sobre ela. Como metacomentário sobre a construção de narrativas desse tipo, que se contrapõem explicitamente a visões triunfalistas e mesmo estritamente meritocráticas a respeito do fazer científico, cabe sublinhar que muitas vezes tais visões vão contra a própria visão que transparece de algumas fontes que foram utilizadas para a construção desse trabalho. Por exemplo, Wisniak (2003) afirma em sua resenha biográfica sobre Vauquelin que ele é um “exemplo de pessoa que teve uma juventude desvantajosa, mas um espírito determinado que o levou a desenvolver uma carreira científica extraordinária” (p. 47), reforçando claramente um imaginário meritocrático e neoliberal para a carreira de Vauquelin, que buscamos não reproduzir em nossa narrativa histórica.

O destaque à cultura material e visual aparece na forma como procuramos construir nossa narrativa histórica. Através de uma pesquisa iconográfica, buscamos traços que corroborassem com a história que estava sendo contada. Nesse sentido, pinturas, pôsteres de época, cartoons e fotos são trazidas à narrativa de forma a constituir evidências da cultura visual que remetessem às principais características abordadas pela narrativa histórica. Além disso, a descrição da experimentação e mesmo figuras mostrando aparatos instrumentais, bem como atribuindo a importância devida a estes objetos científicos na narrativa são traços da HCC que afastam definitivamente a possibilidade de atribuir aos instrumentos um caráter subsidiário no caminhar da ciência, conforme alertava Chamizo (2013). O principal momento da narrativa em que o traço da cultura visual e material é enfatizada, no entanto, diz respeito à parte final da narrativa, quando nos apoiamos em Klein (2001; 2003) para apresentar o início da utilização das fórmulas químicas berzellianas como ferramentas do papel no primeiro terço do século XIX. Conforme Klein (2001), a análise aprofundada dos múltiplos significados destas fórmulas para a história da química foi, durante muito tempo, negligenciada pelos historiadores. Muitas vezes, as fórmulas foram tratadas como representações da teoria atômica, ou meros substitutos dos nomes das substâncias, isso é, uma função representacional, algo que esteve presente em análises semióticas como a de François Dagognet. No caso de Klein (2001), ela também usa a teoria semiótica para interpretar as fórmulas berzellianas, mas explorando a conjunção das funções representacionais e o que chama de funções performativas, conforme argumento a seguir, que é válido não apenas para o artigo em que está expresso, mas corrobora o posicionamento da autora nos seus diversos trabalhos sobre o período:

> "Em contraste a Dagognet e outros, argumento neste artigo que começando no final da década de 1820, as fórmulas Berzelianas tornaram-se extremamente produtivas como ferramentas no papel, ou 'ferramentas do papel', particularmente na química orgânica. Como Dagognet e outros semioticistas, eu levo em consideração a materialidade das fórmulas. Entretanto, meu estudo não está restrito a uma análise semiótica formal. Em vez disso, incorporo os estudos semióticos no escrutínio de real aplicação das fórmulas na experimentação e na modelagem químicas. Minha abordagem, portanto, liga os estudos de semiótica com abordagens recentes conhecidas como 'ciência como prática e cultura material'"[77]. (KLEIN, 2001: 9)

[77] No original: "In contrast to Dagognet and others, I argue in this paper that beginning in the late 1820s, Berzelian chemical formulas became enormously productive as tools on paper, or 'paper tools', particularly in organic chemistry. Like Dagognet and other semioticians, I take the materiality of chemical formulas into account. However, my study is not restricted to formal semiotic analysis. Rather, I embed semiotic studies in the scrutiny of the actual application of formulas in chemical experimentation and modeling. My approach thus links semiotic studies with recent approaches known as 'science as practice and material culture'."

Assim, a análise das fórmulas, para Klein, estaria ligada não apenas às funções representativas desses signos – o que é um dos traços característicos da HCC – mas também está imbricada em práticas científicas e na cultura material do período, isto é, empreende-se uma rica descrição dos instrumentos e atores materiais e não materiais e seus respectivos papéis para o desenvolvimento da história. A respeito das práticas, é importante notar que, conforme afirma Pimentel (2010), as análises da HCC "deixam de estar fixada à palavra escrita e à teoria. Deixa de ser exclusivamente uma história textual ou livresca para converter-se também na história de como se realizou tal ou qual experimento e como se replicou em outro espaço ou em outro momento, sob outras circunstâncias" (p. 420). Conquanto este estranhamento – derivado de um olhar antropológico tal qual lançaram Shapin e Schaffer em *Leviathan and the air pump* para seu objeto de estudo (PIMENTEL, 2010) – seja um traço muito característico do que os historiadores classificam como história cultural, entendemos que esta perspectiva que substitui a História das Ciências exclusivamente livresca ou textual para uma História das Ciências "tal qual se faz" pode ser característica, ainda, de outras perspectivas historiográficas que citamos anteriormente, como a História Social, por exemplo. O olhar para os signos e objetos científicos, para os modos recorrentes de performar determinadas ações e a centralidade da narrativa a partir destes elementos são, no entanto, características que ajudam a delimitar um pouco mais o que se entende por HCC – mesmo sabendo que como significados partilhados em uma comunidade, estes ainda podem mudar no curso da história.

Este tipo de característica – relacionada às práticas e representações – dentro da vertente historiográfica da HCC ajuda a ativar a abordagem de aspectos epistemológicos da ciência, relacionados à modelagem, à relação da ciência com a verdade, a estilos de pensamento, argumentação e justificação, entre outros, de uma maneira potencialmente menos normativa que aquela a que nos acostumamos a observar em abordagens históricas a partir de listas de consenso no ensino de ciências. Isto porque a história não está a serviço de ilustrar determinadas características da ciência, como sugere McComas (2008) usando a *consensus view*, mas sim de, "simplesmente", contar sobre como algo se desenrolou no passado das ciências. É claro que toda narrativa histórica pode ter determinados focos em detrimento de outros – trataremos disso adiante –, mas na abordagem que estamos propondo da HCC para o Ensino de Ciências, esses focos não sairiam de aspectos normativos sobre o que acreditamos ser ciência. Ainda sobre o foco narrativo nas práticas e representações,

entendemos que ele aparece por força da própria historiografia, mas que pode ter repercussões positivas na Educação em Ciências.

Analisando a obra de Klein (2003), que é a espinha dorsal da nossa narrativa histórica, observam-se algumas estratégias narrativas que agora passamos a ressaltar. Um traço característico de sua forma de contar a história é a organização da narrativa em torno de alguns pontos nodais, centrados em práticas ou temas afins que exercitam um ir e vir temporal com o objetivo de sustentar pontos de vista específicos. Por exemplo, ao falar das abordagens quantitativas na síntese do éter (p. 95), a autora inicia com comentário sobre a obra de Fourcroy, de 1801/2, e segue até os experimentos de Thenard e Boullay, entre 1807 e 1809, abordando o uso do eudiômetro e a técnica de Gay-Lussac e Thenard, de 1810 em diante e de Berzellius na década de 1820. Depois, trata da invenção do kalliapparat de Liebig em 1830, retorna a 1815 (p. 97) para falar de modificações feitas por Gay-Lussac na técnica de Berzellius e a utilização desta técnica por diversos químicos nos anos que antecedem a invenção do kalliapparat. A partir disso, volta a 1807 para abordar as análises quantitativas de Thenard e Boullay durante a síntese de éteres. O que une esses ires-e-vires no tempo é a prática de realizar medidas quantitativas nos experimentos da química orgânica, uma característica que se amplia no início do século XIX, mudando o panorama do que era considerado química orgânica. O mesmo tipo de estratégia pode ser observado em diversos outros momentos do texto, como por exemplo quando trata do uso de fórmulas e sua relação com o modelo teórico pra explicar a reação de formação do éter (p. 118).

Esse tipo de estratégia apresenta potencialidades quando considerada sua aplicação para o ensino de ciências. Uma em especial, à qual vamos nos ater nesta análise, diz respeito à sua possível contribuição para a quebra da linearidade de narrativas históricas para o ensino e a consequente problematização de visões de ciência estritamente progressiva, cumulativas, triunfalistas e lineares, conforme discutido por Forato, Martins e Pietrocola (2011). No esquema a seguir, buscamos representar graficamente a estratégia narrativa associada à HCC em comparação a narrativas consideradas reconstruções lineares e cumulativas da História das Ciências. Conforme comentado anteriormente, conquanto a centralidade nas práticas e representações seja uma diferença de concepção em relação a outras vertentes historiográficas, a diferença narrativa que essa concepção produz pode gerar mudanças positivas na forma como narramos histórias na educação em ciências.

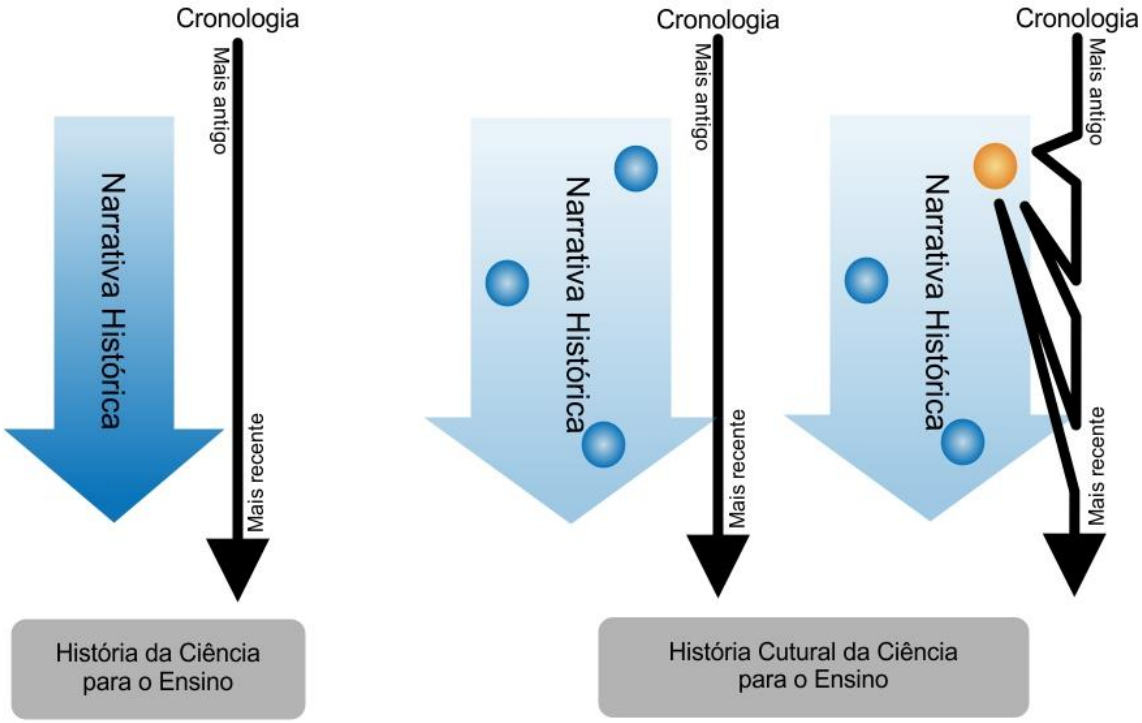


Figura 20: Estratégias narrativas na História Cultural das Ciências. Fonte: o autor.

A forma tradicional de se apresentar uma história é narrar fatos cronologicamente, do mais antigo ao mais recente. Eventualmente realizando análises que ajudam o leitor a situar os objetivos do narrador e destacar os principais pontos da história. Essa forma de realizar a narração de uma história está representada à esquerda, o que classificamos como abordagens tradicionais de HC no Ensino. No caso da narrativa que envolve a HCC, representada à direita, um curso global dos acontecimentos continua existindo. Em nosso exemplo da química orgânica, trata-se de um episódio histórico que busca narrar o percurso sobre como o modelo explicativo para a síntese do éter etílico de Fourcroy e Vauquelin, de 1797, deu lugar a um novo modelo explicativo para o mesmo fenômeno, consolidado pela publicação de Dumas e Boullay em 1827; explora ainda, como este episódio esteve relacionado com as profundas mudanças pelas quais passou a química orgânica nesse período. Há, portanto, uma história a ser contada, com início, meio e final. No entanto, representado graficamente por três círculos azuis (o número é ilustrativo), estão algumas práticas científicas destacadas como centrais no processo. Em nosso caso, citamos a participação em sociedades científicas e as características dessas, os circuitos de validação do conhecimento científico, o uso medicinal do éter como fator de sua importância para a

época, entre outros. A narrativa transcorre cronologicamente até que um dos pontos nodais relacionados a alguma prática científica é “ativado” (círculo laranja). Nesse momento, os fatos, antes organizados cronologicamente, sofrem um deslocamento, como se este ponto nodal fosse um ponto de atração gravitacional. Isso está representado na terceira imagem. Depois de explorar a prática científica em questão, retorna o curso normal e preponderantemente cronológico da narrativa. Cabe lembrar que, como estamos falando de uma estratégia narrativa, esta pode ser utilizada não apenas nessa, mas em outras correntes historiográficas, onde outros momentos de síntese poderiam ocupar esses pontos nodais. No entanto, o fato de a narrativa, apoiada na HCC, ser organizada em torno de práticas científicas (como demonstramos a respeito do texto de Klein e do nosso) facilita essa manipulação do tempo – desafiando a monocultura do tempo linear, de que fala Santos (2002) – colocando em destaque particularidades do desenvolvimento da ciência, e assim, representando boas oportunidades de debate sobre características da ciência.

Outra característica que se acentua a partir dessa estratégia narrativa é a possibilidade de conexão com o contemporâneo. No caso do espaço subalterno ocupado pelas mulheres, explorado com o episódio da sociedade de Arcueil, pode-se questionar que espaço hoje é ocupado pelas mulheres na ciência. No caso dos experimentos com negros, em que medida o racismo científico e a violação dos direitos humanos e direitos da Terra ainda estão presentes no fazer científico? Que diferença faz a representatividade nas ciências? No caso da validação e da assimetria de poderes, como se validam hoje as pesquisas e como podemos obter exemplos atuais da assimetria de poderes nas ciências? Por que isso é relevante? Qual a posição do Brasil nesse debate? Há muitas questões que podem ser levantadas a partir desses pontos nodais, nas quais discute-se práticas da ciência em escala trans-temporal. A vantagem desta abordagem é que, diferentemente das histórias baseadas em listas de características da ciência, a consequência não é buscar no contemporâneo algo que se aprendeu sobre a ciência no passado, mas sim pôr em discussão o presente à luz do passado. Isso implica que o foco está nas perguntas e não nas respostas, o que, ao contrário de promover a fixação de determinada imagem de ciência para os estudantes, deve promover a reflexão constante sobre os meios sobre os quais se constrói a ciência. A atuação como “opinião pública” está mais ligada a levantar questões sobre os diversos temas de interesse público, incluindo a ciência, do que propriamente respondê-las de antemão de acordo com um padrão. Até porque a forma como a ciência era até o século XX não necessariamente representa o que ela é hoje e o que pode se tornar no futuro.

Um exemplo disso são as sociedades científicas, que embora historicamente tenham sido centrais no desenvolvimento da ciência e palco de importantes debates, não desempenham o mesmo papel hoje. Em contrapartida, não tínhamos empresas com tanto poder concentrado e capazes de conduzir independentemente linhas de pesquisa que produzirão evidências que corroborem seus próprios produtos – nesse sentido, há exemplos como os da indústria do café, de saúde bucal, entre outros. Cabe questionar, portanto, se historicamente sociedades científicas tinham um grande poder na produção da ciência, quem são as instituições que possuem poder hoje? A que modelo de sociedade elas servem?

Em suma, a "história na voz passiva" que propomos por meio da HCC tem a intenção de, ao trazer para o centro da narrativa histórica as práticas científicas que foram performadas por determinados atores sociais em um dado espaço-tempo, buscar maneiras de discutir a ciência contemporânea à luz da história. E, com isso, discutir apagamentos históricos ocorridos na ciência, o que pode repercutir na formação das identidades de estudantes, aumentando o potencial politizante da abordagem histórica, conforme exploraremos na próxima seção.

4.5.2 Episódios Históricos, Decolonização e Normatividade Curricular

O primeiro estranhamento que se pode ter a respeito da proposta dessa tese é em relação ao argumento defendido no capítulo 2 – que busca deslocar a contextualização do conhecimento (histórica ou não) ao que chamamos de polo de deliberação circunstancial – em comparação ao que se propõe no capítulo 4 – um episódio histórico com fins didáticos para o ensino de química orgânica. Não seria esta uma incoerência? Como se pode propor um "produto" acabado e, ao mesmo tempo, defender a autonomia e liberdade docente de contextualizar a partir de cada realidade?

Este ponto de tensão no argumento foi tangencialmente explorado no próprio capítulo 2, quando situamos a contextualização histórica como ocupando necessariamente um entre lugar entre os dois pólos virtuais (normatização absoluta e deliberação circunstancial absoluta) por se tratar de um conhecimento que foi construído no passado. Isso implica na restrição do grau de liberdade de contextualização já que o conteúdo histórico estará sempre preso ao passado. Este argumento, conquanto explique a contingência, não faz avançar muito, se entendemos como uma necessidade

imperiosa a perspectiva de aproximar a contextualização da realidade dos estudantes. Deveríamos então abandonar as abordagens históricas das ciências no ensino?

Para abordar este problema, propomos primeiro um aprofundamento do entendimento sobre como buscamos construir a proposição de um episódio histórico para o ensino conforme feito no presente capítulo. A contextualização histórica não seguiu apenas a trilha do conhecimento “objetivo” tal qual foi construída no passado, mas os caminhos escolhidos carregam consigo percepções e preocupações advindas das realidades que circulamos, pesquisamos e buscamos entender através das pesquisas do grupo NIEHCC. Sendo assim, quando aprofundamos a história da presença/ausência do negro no contexto da pesquisa/utilização do éter no século XIX e anteriormente, esse aprofundamento só faz sentido porque está em diálogo com realidades de pesquisas do nosso grupo, que ocorrem em contextos subalternizados de maioria negra, conforme exemplos de Amaral (2015), Avila (2017) e Jager (2018). A ênfase no papel da mulher quando tratamos da Sociedade de Arcueil, novamente na perspectiva de sua ausência, ou na atribuição de papéis subalternos, faz sentido se olhados à luz da pesquisa de Moura e Guerra (2016b) em que tais questões se apresentaram de maneira mais proeminente. Ou seja, mesmo a pesquisa histórica foi motivada e esteve informada, em parte, por contextos vividos e imaginados da realidade que partilhamos no grupo de pesquisa, o NIEHCC, o que nos move um pouco para longe do polo normativo.

Isso não significa que a única realidade a que serve nosso episódio histórico é a que motivou sua criação. Assim como reinterpretamos uma resenha biográfica de tendência meritocrática para “caber” em nossa perspectiva, também o episódio construído tem potencial para ser reinterpretado e recriado em contextos diversos dos quais imaginamos ao criá-lo. Esta, inclusive, é uma grande lição dos estudos do currículo: todo texto curricular está sujeito a rasura, reinterpretação e recriação em seus contextos de implementação (LOPES, 2015a). Na figura 21, propomos uma interpretação conceitual para este ponto de tensão. Nela, buscamos representar as práticas científicas históricas como novelos de linha, que podem ser desenrolados em várias “histórias” e aspectos relativos a esse conhecimento, o que chamamos de contextualização histórica. Do outro lado, há o estudante, com suas histórias de vida, interesses e motivações, ideologias, etc. O sentido que buscamos para a contextualização é a procura de pontos de contato entre os fios desenrolados dos dois novelos. Se aceitamos, conforme Matthews (1995) que a contextualização histórica

surgiu com o objetivo de superar o “mar de falta de significação” do ensino de ciências, àquela época representado como extremamente abstrato e “descontextualizado”, então, entendemos que este objetivo só pode ser atingido se a contextualização histórica, filosófica e sociológica que promovemos puder tocar, de alguma maneira, as histórias e realidades dos estudantes, do contrário estaremos desconsiderando que o significado depende sempre de um sujeito cognoscente, ou seja, estaremos, paradoxalmente, perpetuando o mar de falta de significado, mesmo com o ensino de ciências historicamente contextualizado.

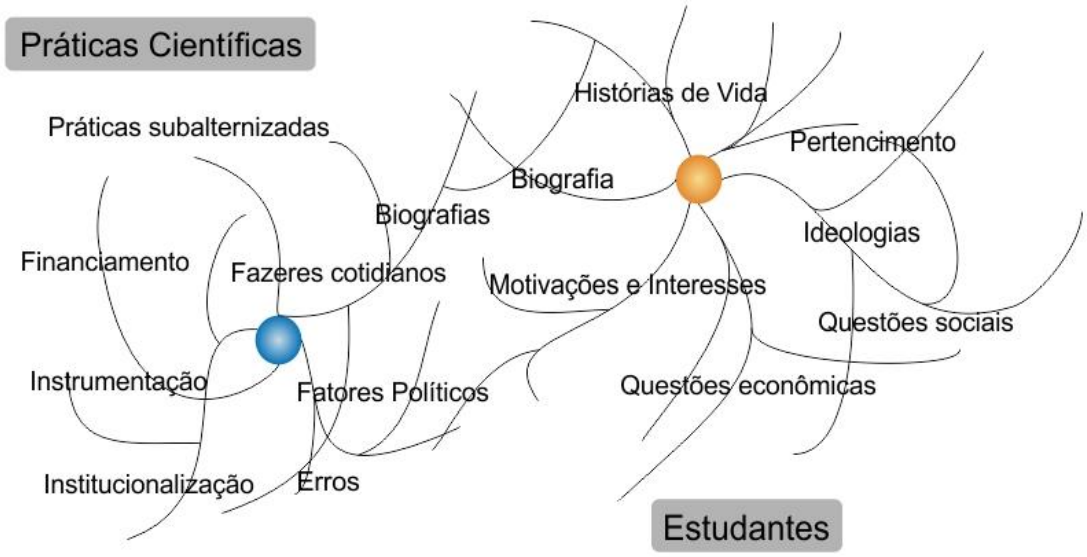


Figura 21: Relação conceitual entre perspectivas do estudantes e contextualização do conhecimento científico. Fonte: o autor.

Este argumento é melhor entendido e aceito se buscamos exemplos empíricos para isso. Um bom exemplo é o trabalho de Jager (2018), no qual a autora, trabalhando com educação de mulheres adultas privadas de liberdade, consegue ligar a perspectiva histórica (pelo viés da HCC) de um conhecimento sobre a botânica à temática do apagamento feminino dessa história. Como consequência, as estudantes conseguiram tecer relações entre suas realidades de subalternidade e os processos de exclusão ocorridos historicamente nas ciências, gerando interesse nas aulas e promovendo reflexões sobre sua condição como mulheres em uma sociedade machista – ainda que reproduzissem posturas machistas em seus discursos.

Por último, cabe apontar como entendemos que a proposta aqui delineada avança na decolonização do currículo – elemento que está presente na tese apresentada na introdução. Para isso, é importante retomar algumas das premissas que assumimos no capítulo 1, quando tratamos de forma mais direta desse tema. A primeira

premissa foi a continuidade (e não descontinuidade) entre o que Santos (2008) classifica como PIC e PEC. Com isso, argumentamos que uma verdadeira Ecologia de Saberes (SANTOS, 2008) só poderia ser alcançada se atuássemos simultaneamente na luta pela inclusão no currículo de saberes que sofreram epistemicídio ao longo da história e no entendimento dos limites epistemológicos do conhecimento da Ciência Moderna Ocidental e das outras formas de conhecimento. Se aceitamos esse argumento, a promoção do que Santos (2008) classifica como PIC já seria um primeiro passo (ainda que tímido) em direção a uma decolonização do currículo. No entanto, usando o conceito de sociologia das ausências (SANTOS, 2002), defendemos ainda a importância de atuar na reconstrução dos apagamentos históricos a respeito do que veio a ser considerado ciência. Nesse sentido, passaram a ser elementos importantes na História das Ciências a história das mulheres, dos negros, indígenas e povos colonizados, campesinato, entre outros. Além disso, considerando que não há prática que não seja performada por alguém (SANTOS; MENESES, 2010), trabalhamos no sentido de explicitar determinados fazeres que foram subalternizados historicamente e deixaram de ser considerados como parte do fazer científico, quais sejam: os trabalhos manuais de instrumentadores, de divulgadores das ciências, de artesãos, entre muitos outros. Nossa defesa é, então, de que este tipo de conhecimento sobre as ciências deveria figurar no currículo escolar.

Em consonância com essa defesa para uma decolonização do currículo escolar, encontramos na HCC uma forma de fazer História das Ciências que reverbera aquilo que valorizamos para a decolonização do currículo, e por isso, propusemos aproximar os dois campos. Entendemos que este, como movimento exclusivamente conceitual, não garante sozinho a decolonização curricular, mas defendemos que caminhos empíricos que procurem se aproximar à perspectiva aqui defendida podem obter êxito nessa tarefa e, principalmente, na tarefa maior que propomos na tese, qual seja, a politização da educação científica. Com isso, pretendemos que estudantes possam compreender, desde um ponto de vista histórico, a origem de problemas do nosso mundo contemporâneo e, assim, aumentar a sua possibilidade de agência nesse mundo, com vistas a esperançar o futuro, cada vez mais escasso (SANTOS, 2002) e necessitado de cuidados.

Considerações Finais

Um galo sozinho não tece uma manhã:
ele precisará sempre de outros galos.

De um que **apanhe esse grito que ele**
e o lance a outro; de um outro galo
que apanhe o grito de um galo antes
e o lance a outro; e de outros galos
que com muitos outros galos se cruzem
os fios de sol de seus gritos de galo,
para que **a manhã**, desde uma teia tênue,
se vá tecendo, entre **todos os galos**.

E se encorpando em tela, **entre todos**,
se erguendo tenda, **onde entrem todos**,
se entretendendo **para todos**, no toldo
(a manhã) que plana livre de armação.

A manhã, toldo de um tecido tão aéreo
que, tecido, se eleva por si: luz balão.

João Cabral de Melo Neto

Inspirado em João Cabral de Melo Neto, afirmo que esta tese é um canto que se tece a partir dos cantos anteriores de nosso grupo de pesquisa NIEHCC e da literatura da área, que advogam uma Educação Científica mais politizada e mais politizante. Nos unimos a esta demanda urgente e propomos, do ponto de vista conceitual, produzir deslocamentos dentro da área de História, Filosofia e Sociologia das Ciências no Ensino em direção a esse compromisso político com a educação e com a sociedade.

Consoante a este ideal, enunciamos na introdução a tese a ser defendida nesse trabalho: a História Cultural das Ciências pode ser um caminho para diminuir o déficit político da Educação em Ciências através da decolonização do currículo. A partir disso, realizamos um estudo no capítulo 1 sobre a ideia de politização na Educação em Ciências, como ela tem sido vista na literatura e o que ela implica, em nossa leitura. Neste mesmo capítulo, introduzimos o conceito de mundo em crise, afunilando os sentidos até chegar no sentido histórico, com suas implicações para a ciência, o que é feito a partir da leitura decolonial de Boaventura de Sousa Santos. Em seguida, articulamos as ideias de Boaventura com discussões em torno ao Multiculturalismo na Educação em Ciências, apontando aproximações e distanciamentos, até culminar na defesa central do capítulo: a HC, na vertente historiográfica da HCC, pode ser um

caminho de politização da Educação Científica por um viés decolonial. Este capítulo constitui, em certo sentido, um resumo do argumento central da tese, que é aprofundado nos capítulos seguintes. Ao trazer o pensamento de Boaventura para a Educação em Ciências, considerada a extensão de sua produção intelectual, cabe ressaltar que há outros diversos potentes conceitos do autor que podem gerar interessantes debates na intersecção com a Educação em Ciências, como é o caso da sociologia das emergências e o conceito de linhas abissais. Há, também, debates que tangenciamos na tese, como o do multiculturalismo, que podem ser aprofundados em trabalhos futuros sob a ótica decolonial de Boaventura. Além disso, há diversos outros autores do campo decolonial que poderiam complementar em alguns sentidos a discussão ali produzida.

Entendendo que a área de História, Filosofia e Sociologia das Ciências no Ensino possui uma trajetória que aproxima sobremaneira as abordagens históricas do conceito de Natureza da Ciência, elaboramos no capítulo 2 uma análise dos pressupostos deste conceito, buscando entender o quanto alguns modelos da literatura se aproximam da perspectiva política e politizante que buscamos na tese. Para isso, buscamos na Teoria de Currículo, mais especificamente nos debates acerca da normatividade curricular, subsídios para compreender melhor estes modelos. Como resultado foi possível perceber que os modelos de NdC possuem traços que remetem a perspectivas tecnocráticas de currículo e se aproximam de tendências normativas, criticadas em estudos contemporâneos de currículo. Com isso, entendemos que abrem-se caminhos para novas análises utilizando outros conceitos da Teoria Curricular capazes de iluminar aspectos diferentes desse campo de produção intelectual da Educação em Ciências. Há, também, a possibilidade de que, a partir das conclusões que produzimos neste capítulo, investiguem-se outros caminhos a respeito de como seria “pensar sem os *frameworks* conceituais” existentes na literatura, conforme propomos.

No capítulo 3, aprofundamos a análise da HCC, situando-a dentro de movimentos historiográficos da literatura de História das Ciências. Cruzando referenciais da HCC e dos Science Studies com referenciais da Educação em Ciências, propomos uma interpretação para o conceito de prática científica e desenhamos, a partir dessa discussão, implicações para a Educação em Ciências. Entendemos que, especialmente pela profusão de interpretações sobre a perspectiva das práticas científicas na Educação em Ciências, informadas por diferentes correntes teóricas, a investigação a respeito do conceito de prática científica na educação em ciências e seus

atravessamentos com a Historiografia e os Science Studies pode produzir resultados interessantes para a área.

Por último, no capítulo 4, iniciamos com a construção de um episódio histórico da Química Orgânica, como forma de ilustrar os conceitos propostos nos três capítulos anteriores. Na seção final deste mesmo capítulo, buscamos apontar como o episódio desenvolvido se articula com elementos da tese a ser defendida e expõe tensões e possibilidades para abordagens históricas para a Educação Científica que pretendam seguir a trilha da literatura que nós optamos por seguir nesta tese. Mesmo com esse pequeno esforço de construção de pontes entre a História da Química Orgânica e o Ensino, este segue sendo um campo ainda largamente inexplorado na literatura de Educação em Ciências, ainda que o Ensino de Química Orgânica seja talvez um dos mais conservadores no Ensino de Química. Esperamos que essa tese, então, encoraje novas incursões neste campo. Na seção final do capítulo, buscamos ainda sistematizar ideias sobre o uso da HCC no Ensino de Ciências, com ideias e elaborações teóricas que podem ajudar a delimitar o trabalho do professor em sala de aula, encarando-o como um intelectual, o que significa dizer que buscamos constituir mais um arcabouço teórico com o qual se possa dialogar, moldar e reconstruir, do que uma receita de bolo que seria válida em múltiplos contextos.

Entndemos que, como todo trabalho acadêmico, esta tese possui incompletudes. Carrega vozes, mas também silêncios. E essa característica está diretamente relacionada com o poema que escolhemos para a abertura deste capítulo. Nós partimos de um canto anterior, principalmente de três dissertações empíricas de pesquisadoras do grupo NIEHCC (AMARAL, 2015; ÁVILA, 2017; JAGER, 2018) que geraram, com a implementação de abordagens históricas em salas de aula, resultados inquietantes o suficiente para motivar-me a buscar a construção de um aprofundamento teórico a partir da complexa realidade que esses trabalhos apresentaram. Alguns dos argumentos construídos nessa tese demandariam intervenções empíricas para serem defendidos com maior robustez de evidências, porém, assim como nos apoiamos em um canto anterior, esperamos motivar cantos futuros que se apoiem neste canto e possam construir *a-manhã*. Esta necessidade de trabalhos empíricos não deriva apenas de uma necessidade acadêmica de “provar” a autoridade de um argumento, mas, se aceitamos a demanda de politização que esta tese mapeia na literatura, preencher esta lacuna é também um exercício político fundamental para a contemporaneidade.

Ainda tomando essa preocupação com a política como central para a tese, cabe reforçar que o que pretendemos não é advogar em favor da HCC como caminho único e exclusivo para atingir essa politização. É possível que outras articulações entre historiografia e esta demanda do EC estejam esperando para serem feitas. Porém, um movimento que julgamos importante e que a tese ajuda a promover é a evidenciação da não-neutralidade das correntes historiográficas, reexaminando premissas como a de que qualquer abordagem histórica no ensino estaria a serviço de uma humanização do EC e de ideiais democráticos para uma sociedade mais justa e menos desigual. Jogar luz sobre esse debate pode reorientar algumas discussões na área.

Ao elaborar uma crítica à normatividade curricular na área de HFSC e Ensino, pretendemos, também, mover alguns debates dessa área de um polo normativo, com a produção de sequencias didáticas e insumos para o professor “aplicar” em sala de aula, para uma história da ciência “viva”, que celebre a inventividade do professor e que seja capaz de dar significados profundos para a história a partir da conexão desta com os contextos reais dos estudantes aos quais tal abordagem se destina. Dessa intenção, deriva a necessidade de atenção aos contextos práticos de implementação de um ensino de ciências com viés histórico. De nada adianta um discurso que defende a politização do ensino de ciências se não atentamos para essa realidade (tantas vezes precária) de atuação do docente, buscando, além de servir como instrumento de denúncia, também localizar a inventividade dos professores, como eles driblam e reinventam a norma como forma de produzir um ensino de ciências que seja significativo para seus estudantes. Nessa tarefa, talvez a teoria dos currículos cotidianos, mencionada brevemente na introdução em nota de rodapé, possa ser um caminho que ajude a desvendar a complexidade desses contextos e tornar possível seu estudo. Ressaltamos, aliás, que é possível que essa seja uma tarefa não apenas da área de HFSC e Ensino, mas da área acadêmica de Ensino de Ciências como um todo, onde se costuma produzir, com frequência, recomendações e manuais a docentes de ciências, mas cuja tradição de pesquisa que produz essas recomendações e manuais frequentemente despreza a complexidade do fenômeno educacional e o *dentrofora* da sala de aula. Esta é uma questão que pretendemos investigar no futuro, com consequências para opções metodológicas de pesquisa e para a implementação de abordagens históricas no ensino.

Enfim, retomando a metáfora da introdução, esta tese procurou semear ideias e conceitos no revolvido solo da contemporaneidade com o objetivo de articular raízes e

construir um tronco sólido para esta árvore em construção. Se a raiz e o tronco estão propostas nesta tese, as folhas estão ainda em processo de maturação e depende de quanto sol, quantos nutrientes receberão e dos galos que, pousados nesses jovens galhos, decidam cantar para que outro galo apanhe e, assim, possam ir tecendo o futuro. Desta construção certamente surgirão intemperismos que podem afetar o solo, o tronco, os galhos e até mesmo a raiz e, assim, darão o tom de como essa planta irá se desenvolver no futuro. Se o medo é que o solo em pouco tempo possa ser outro e coloque em dúvida a sobrevivência da árvore que buscamos semear, esta também é a nossa esperança, dada a aridez do tempo presente. De nossa parte, educadores comprometidos com a mudança no mundo, temos a certeza, no entanto, que mesmo que este solo venha a endurecer, e até se ele for coberto por asfalto pela ação daqueles que querem impedir ou atrasar um futuro menos desigual, seguiremos sempre sendo como a *flor ainda desbotada* de Drummond, que ***fura o asfalto, o tédio, o nojo e o ódio***.

Referências Bibliográficas

AAAS. **Benchmarks for Scientific Literacy**. New York, NY: Oxford University Press, 1993/2009. Disponível online em: <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php?chapter=1>. Acesso em 28/01/2019.

ABD-EL-KHALICK, F. Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. **Science & Education**, v. 22, n. 9, p. 2087-2107, 2013.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.

ADAMS, T. Sulear. In: Streck, D. R.; Redin, E.; Zitkoski, J. J. (orgs.) **Dicionário Paulo Freire**. Belo Horizonte: Autêntica Editora, p. 385-386, 2017.

AIKENHEAD, G. S. Educação científica para todos. **Mangualde: Edições Pedago**, 2009.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011c.

ALLCHIN, D. From science studies to scientific literacy: A view from the classroom. **Science & Education**, v. 23, n. 9, p. 1911-1932, 2014.

ALLCHIN, D. Teaching whole science. **The american biology Teacher**, v. 73, n. 1, p. 53-55, 2011a.

ALLCHIN, D. Toward clarity on whole science and KNOWS. **Science Education**, v. 96, n. 4, p. 693-700, 2012.

ALLCHIN, Douglas. Nature of Science in an Age of Accountability. **The American Biology Teacher**, v. 73, n. 3, p. 193-195, 2011b.

ALSOP, S.; BENCZE, J. L. Activism! Toward a More Radical Science and Technology Education. In: Bencze, J. L.; Alsop, Steve (Eds.). **Activist science and technology education**. Springer Netherlands, p. 1-19, 2014.

ALSOP, S.; BENCZE, J. L. Introduction to the special issue on activism: SMT education in the claws of the hegemon. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 10, n. 3, p. 177-196, 2010.

ALSOP, S.; FAWCETT, L. After this nothing happened. **Cultural Studies of Science Education**, v. 5, n. 4, p. 1027-1045, 2010.

ALSOP, S.; GARDNER, S. Opening the black box of NOS: Or knowing how to go on with science education, Wittgenstein, and STS in a precarious world. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 17, n. 1, p. 27-36, 2017.

ALTERS, B. J. Nature of science: a diversity or uniformity of ideas?. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 10, p. 1105-1108, 1997b.

ALTERS, B. J. Whose nature of science?. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997a.

ALVES, N. A compreensão de políticas nas pesquisas com os cotidianos: para além dos processos de regulação. **Educação & Sociedade**, v. 31, n. 113, p. 1195-1212, 2010.

ALVES, N. Cultura e cotidiano escolar. **Revista Brasileira de Educação**, n. 23, p. 62-64, 2003

AMADOR-RODRÍGUEZ, R. Y.; ADURIZ-BRAVO, A. Concepciones emergentes de naturaleza de la ciencia (NOS) para la didáctica de las ciencias. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 3499-3504, 2017.

AMARAL, P. **Hereditariedade e Natureza da Ciência: o uso da abordagem histórico-filosófica.** Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 192 p., 2015.

AVELAR, M.; BALL, S. J. Mapping new philanthropy and the heterarchical state: The Mobilization for the National Learning Standards in Brazil. **International Journal of Educational Development**, in press, 2017.

AVILA, C. A. M. **Veias Abertas: O Estudo do Corpo Humano no Ensino Fundamental a partir de uma abordagem Histórico-Cultural**. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 137 p., 2017.

BAKER, E.; ORESKES, N. It's No Game: Post-Truth and the Obligations of Science Studies. **Social Epistemology Review and Reply Collective**, v. 6, n. 8, p. 1-10, 2017.

BARBOSA, M. Equity for women in physics. **Physics World**, v. 16, n. 7, 14, 2003.

BARNES, B. Practice as collective action. In: T. Schatzki, K. Knorr-Cetina, E. von Savigny (eds.) **The Practice Turn in Contemporary Theory**. London & NY: Routledge, 2005.

BARTON, A. C. Reframing "science for all" through the politics of poverty. **Educational Policy**, v. 12, n. 5, p. 525-541, 1998.

BARTON, A. C.; TAN, E. "It changed our lives": Activism, Science, and Greening the Club / Community. In: Bencze, J. L.; Alsop, S. (Eds.). **Activist science and technology education**. Springer Netherlands, p. 491-508, 2014.

BAZZUL, J. Neoliberal ideology, global capitalism, and science education: Engaging the question of subjectivity. **Cultural Studies of Science Education**, v. 7, n. 4, p. 1001-1020, 2012.

BAZZUL, J. Science education as a site for biopolitical engagement and the reworking of subjectivities: Theoretical considerations and possibilities for research. In: Bencze, J. L.; Alsop, S. (Eds.). **Activist science and technology education**. Springer Netherlands, p. 37-53, 2014.

BENCZE, L. (Ed.). **Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments: STEPWISE**. Springer Netherlands, 2017.

BENCZE, L.; ALSOP, S. (Eds.). **Activist science and technology education.** Springer Netherlands, 2014.

BENCZE, L.; ALSOP, S. Anti-capitalist/pro-communitarian science & technology education. **Journal for Activist Science and Technology Education**, v. 1, n. 1, 2009.

BERTOMEU, J. R.; CASTEL, J. S. Viejos objetos y nuevas perspectivas historiográficas: la cultura material de la ciencia en las aulas del siglo XIX. In: López-Ocon Cabrera, L.; Aragón, S.; Pedrazuela Fuentes, M.; Juaristi, J. **Aulas con memoriaciencia, educación y patrimonio en los institutos históricos de Madrid (1837-1936).** Madrid: CEIMES, 2012. p. 49-72.

BERZELIUS, J. J. Experiments to determine the definite proportions in which the elements of organic nature are combined. **Annals of Philosophy**, v. 4, n. 323–331, p. 401-409, 1814.

BIESTA, G. Boa educação na era da mensuração. **Cadernos de Pesquisas**, v. 42, n. 147, p. 808-825, 2012.

BIESTA, G. Why “what works” won’t work: Evidence-based practice and the democratic deficit in educational research. **Educational theory**, v. 57, n. 1, p. 1-22, 2007.

BLEICHMAR, D. The geography of observation : distance and visibility in eighteenth-century botanical travel. In: Daston, L.; Lunbeck, E. (Eds.) **Histories of Scientific Observation**. University of Chicago Press, p. 373-395, 2011

BOULLAY, P. F. G. Mémoire sur le mode de composition des éthers muriatique et acétique. **Annales de Chimie**, n. 63, p. 90-101, 1807.

BOYD, J. E. Painless Dreams. **Science History Institute**, 2011. Disponível em <https://www.sciencehistory.org/distillations/magazine/painless-dreams>. Acesso em: 11 nov. 2018.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. The role of Historical-Philosopical Controversies in Teaching Sciences: The Debate Between Biot and Ampère, **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 921-934, 2012.

BURKE, P. **O que é história cultural?** rev. e ampl. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.

CAMEL, T. **A relevância das teorias da química orgânica na aceitação do conceito de molécula e de uma realidade atômica**. Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 335 p., 2010.

CAMEL, T. O.; FILGUEIRAS, C. A. L. A importância da lei de Gay-Lussac para a classificação dos compostos orgânicos. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 738-747, 2013.

CAMEL, T. O.; MOURA, C. B.; GUERRA, A. Revolução Química e Historiografia: uma releitura a partir da História Cultural da Ciência para o Ensino de Química. **Educación Química**, v. 30, n. 1, p. 136-148.

CARTER, L. The elephant in the room: Science education, neoliberalism and resistance. In: Bencze, J. L.; Alsop, S. (Eds.). **Activist science and technology education**. Netherlands: Springer, p. 23-36, 2014.

CARTWRIGHT, F. The early history of ether. **Anaesthesia**, v. 15, n. 1, p. 67-69, 1960.

CARVALHO, J. J. O olhar etnográfico e a voz subalterna. **Horizontes antropológicos**, v. 7, n. 15, p. 107-147, 2001.

CASTRO-GOMEZ, S. Ciências sociais, violência epistêmica e o problema da "invenção do outro". In: LANDER, E. (org.) **A Colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais. Perspectivas latino-americanas**. Buenos Aires: Clacso, p. 145-163, 2005.

CHAMIZO, J. A. The Role of Instruments in Three Chemical' Revolutions. **Science & Education**, v. 23, n. 4, p. 955-982, 2014.

CHAMIZO, Jose A. The fifth chemical revolution: 1973–1999. **Foundations of Chemistry**, v. 19, n. 2, p. 157-179, 2017.

CHAUÍ, M. S. **Convite à filosofia**. São Paulo: Ática, 2000.

CLOUGH, M. P. Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. **Science & Education**, v. 15, n. 5, p. 463-494, 2006.

COLLINS, H. Can We Teach People What Science Is Really Like? **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1049–1054, 2015.

CONTRERAS, J. **La autonomia del profesorado**. Madrid: Morata, 1997.

CORBETT, M. Captain Beefheart's piano: Confessions of an unrepentant illiterate. **International journal of critical pedagogy**, v. 1, n. 2, p. 148-159, 2008.

COSTA, H. H. C.; LOPES, A. C. A contextualização do conhecimento no Ensino Médio: tentativas de controle do outro. **Educação & Sociedade**, v. 39, n. 143, 2018.

CRAWFORD, B. Authentic Science. In: GUNSTONE, R. (Ed.) **Encyclopedia of Science Education**. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 113-115, 2014.

CRAWFORD, B. Moving the Essence of Inquiry into the Classroom: Engaging Teachers and Students in Authentic Science. In: TAN, K. C. D.; KIM, M. (Eds.) **Issues and Challenges in Science Education Research**, Dordrecht: Springer Netherlands, p. 25-42, 2012.

CROSLAND, M. **Science under Control: The French Academy of Sciences, 1785-1914**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

DAGHER, Z. R.; ERDURAN, S**. Reconceptualizing Nature of Science for Science Education**. Springer Netherlands, 2014.

DAGHER, Z. R.; ERDURAN, S. Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, v. 25, n. 1, p. 147-164, 2016.

DASTON, L. History of science without structure. In: Richards, R. J; Daston, L. (eds.) **Kuhn's' Structure of Scientific Revolutions' at Fifty: Reflections on a Science Classic**, Chicago: University of Chicago Press, 2016. p. 115-131.

DASTON, L. On scientific observation. **Isis**, v. 99, n. 1, p. 97-110, 2008.

DASTON, L.; GALISON, P. **Objectivity**. Brooklyn, NY: Zone Books, 2007.

DASTON, L.; LUNBECK, E. **Histories of scientific observation.** University of Chicago Press, 2011.

DUMAS, J.-B.; BOULLAY, P. Mémoire sur la formation de l'éther sulfurique. **Annales de Chimie et de Physique**, n. 36, p. 294-310, 1827.

DURBANO, J. P. M.; CARVALHO, E. C.; PRESTES, M. E. B. Controvérsias científicas como recurso para avaliar percepção sobre o papel da subjetividade na ciência. **Revista de Ensino de Biologia da Associação Brasileira de Ensino de Biologia (SBEnBio)**, n. 6, p. 122-134, 2013.

DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. Two views about explicitly teaching nature of science. **Science & Education**, v. 22, n. 9, p. 2109-2139, 2013.

EL-HANI, C.; TAVARES, E. J. M.; ROCHA, P. L. B. 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.

ELISABETSKY, E.; SHANLEY, P. Ethnopharmacology in the Brazilian Amazon. **Pharmacology & therapeutics**, v. 64, n. 2, p. 201-214, 1994.

ERDURAN, S. Introduction to the Focus on… Scientific Practices. **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1023–1025, 2015.

FERRAÇO, C. E. Currículos, Culturas e Cotidianos Escolares: afirmando a complexidade e a diferença nas redes de conhecimentos dos sujeitos praticantes. **Leitura: Teoria & Prática**, v. 31, n. 60, p. 81-103, 2013b.

FERRAÇO, C. E. Curriculum, Culture and Investigation with Routine or About the Creation of Educational Policies in Schools. **Transnational Curriculum Inquiry**, v. 10, n. 1, p. 38-51, 2013a.

FILGUEIRAS, C. A. L. A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução? **Química Nova**, v. 18, n. 2, p. 219-224, 1995.

FORATO, T. C. M.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Historiadores das ciências e educadores: frutíferas parcerias para um ensino de ciências reflexivo e crítico. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 21, p. 137-141, 2014.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. History and nature of science in high school: Building up parameters to guide educational materials and strategies. **Science & Education**, v. 21, n. 5, p. 657-682, 2012.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M.Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

FORD, M. J. Educational Implications of Choosing “Practice” to Describe Science in the Next Generation Science Standards. **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1041-1048, 2015.

FOURCROY, A. F. Sur Trois Espèces Différentes de Gaz Hydrogène, Retirées de l'Éther et de l'Alcool par Différents Procédés, Envoyés à l'Institut par la Société des Chimistes Hollandais. **Annales de Chimie**, v. 21, p. 48-71, 1797.

FOURCROY, A.-F. de; VAUQUELIN, N. L. De l’action de l’Acide sulfurique sur l’Alcool, et de la formation de l’Ether. **Annales de Chimie**, v. 23, p. 203-215, 1797.

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

FROBENIUS, J. S. A. VIII. An account of a spiritus vini æthereus, together with several experiments tried therewith. **Philosophical Transactions**, v. 36, n. 413, p. 283-289, 1730.

FULLER, S. What are You Playing At? On the Use and Abuse of Games in STS. **Social Epistemology Review and Reply Collective**, v. 6, n. 9, p. 39-49, 2017.

GALISON, P. **How experiments end**. University of Chicago Press, 1987.

GALISON, P. Material culture, theoretical culture and delocalization. In Krige J.; Pestre D. (Eds.) **Science in the Twentieth Century**. Paris: Harwood, p. 669–682, 1997.

GALISON, P. Objectivity is Romantic. In: The Humanities and the Sciences. **ACLS Occasional Paper, No. 47.** New York: American Council of Learned Societies, pp. 15–43, 1999. Disponível em: <http://archives.acls.org/op/op47-3.htmgalison>. Acessado em: 28/04/2016.

GALISON, P. Ten problems in history and philosophy of science. **Isis**, v. 99, n. 1, pp. 111-124, 2008.

GALISON, P. Trading with the enemy. In: GORMAN, M. E. (Ed.) **Trading zones and interactional expertise: Creating new kinds of collaboration**, Cambridge: MIT Press, p. 25-52, 2010.

GAVROGLU, K. **O Passado das Ciências como História**. Lisboa: Porto Editora, 2007.

GEERTZ, C. **As interpretações das culturas**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1989.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. Towards authentic learning in Science Education. In: Gilbert, J. K.; Justi, R. **Modelling-based Teaching in Science Education**, Dordrecht: Springer, 2016. p. 41-56.

GINZBURG, C.; TEDESCHI, J.; TEDESCHI, A. C. Microhistory: Two or three things that I know about it. **Critical Inquiry**, v. 20, n. 1, p. 10-35, 1993.

GUDYNAS, E. Buen Vivir: today's tomorrow. **Development**, v. 54, n. 4, p. 441-447, 2011.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. A. History, philosophy and science in a social perspective: a pedagogical project. **Science & Education**, v. 20, n. 1, p. 1485-1503, 2013.

GURGEL, I.; PIETROCOLA, M.; WATANABE, G. The role of cultural identity as a learning factor in physics: a discussion through the role of science in Brazil. **Cultural Studies of Science Education**, v. 11, n. 2, p. 349-370, 2016.

GUYTON DE MORVEAU, L. B.; VAUQUELIN, N. L.; BERTHOLLET, C. L. Sur um Mémoire de M. Thenard, sur l'Ether nitreux. **Annales de Chimie**, n. 61, p. 282-302, 1807.

HARAWAY, D. Anthropocene, capitalocene, plantationocene, chthulucene: Making kin. **Environmental humanities**, v. 6, n. 1, p. 159-165, 2015.

HEERING, P. Make-Keep-Use: Bringing Historical Instruments into the Classroom. **Interchange**, v. 46, n. 1, p. 5 – 18, 2015.

HEILBRON, J. L. A Choice of Companions: Bernard Lightman (Editor). A Companion to the History of Science. xvi + 601 pp., illus., figs., tables, bibl., index. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, 2016. £120 (cloth). Georgina M. Montgomery; Mark A. Largent (Editors). A Companion to the History of American Science. (Wiley Blackwell Companions to American History.) xvii + 692 pp., bibl., index. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, 2015. £120 (cloth). **Isis**, v. 108, n. 3, p. 660–663, 2017.

HODSON, D. Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. In: Matthews, M. R. (ed.) **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**, Dordrecht: Springer, p. 911-970, 2014.

HODSON, D. Science education as a call to action. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 10, n. 3, p. 197-206, 2010.

HODSON, D. Seeking directions for change: The personalisation and politicisation of science education. **Curriculum Studies**, v. 2, n. 1, p. 71-98, 1994.

HODSON, D. Time for action: Science education for an alternative future. **International journal of science education**, v. 25, n. 6, p. 645-670, 2003.

HODSON, D; WONG, S. L. Going beyond the consensus view: Broadening and enriching the scope of NOS-oriented curricula. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 17, n. 1, p. 3-17, 2017.

HOLMES, F. L. Analysis by fire and solvent extractions: the metamorphosis of a tradition. **Isis**, v. 62, n. 2, p. 129-148, 1971.

IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. **Science & Education**, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, 2011.

IRZIK, G.; NOLA, R. New directions for nature of science research. In: Matthews, M. R. (Ed.) **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Springer Netherlands, p. 999-1021, 2014.

JAGER, I. T. **Discutindo gênero com mulheres privadas de liberdade: um olhar da História Cultural da Ciência para o desenvolvimento da botânica nos séculos XVIII e XIX.** Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 127p., 2018;

JAY, M. “O, Excellent Air Bag”: Humphry Davy and Nitrous Oxide. **The Public Domain Review**, 2014. Disponível em <https://publicdomainreview.org/2014/08/06/o-excellent-air-bag-humphry-davy-and-nitrous-oxide/>. Acessado em 12 nov 2018.

JENKINS, E. W. School science and citizenship: whose science and whose citizenship?. **The Curriculum Journal**, v. 17, n. 3, p. 197-211, 2006.

JENKINS, E. W. The history of science in British schools: retrospect and prospect, **International Journal of Science Education**, n. 12, v. 3, p. 274-281, 1990.

JENSEN, W. B. Logic, History, and the Teaching of Chemistry: III. One Chemical Revolution or Three? **Journal of Chemical Education**, v. 75, n. 8, p. 961 - 969, 1998.

JENSEN, W. B. The origin of the Bunsen burner. **Journal of Chemical Education**, v. 82, n. 4, p. 518 - 519, 2005.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; CRUJEIRAS, B. Epistemic practices and scientific practices in science education. In: Taber, K.; Akpan, B. (Eds.) **Science Education**. Rotterdam: Sense Publishers, 2017. p. 69-80.

KELLY, G. J.; LICONA, P. Epistemic practices and science education. In: Matthews editor **History, Philosophy and Science Teaching: New Perspectives**. Chamonix: Springer, 2018. p. 139-165.

KIM, E. A.; ASGHAR, A.; JORDAN, S. A Critical Review of Traditional Ecological Knowledge (TEK) in Science Education. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 17, n. 4, p. 258-270, 2017.

KLEIN, R. Ler/Leitura. In: Streck, D. R.; Redin, E.; Zitkoski, J. J. (orgs.) **Dicionário Paulo Freire**. Belo Horizonte: Autêntica Editora, p. 240-241, 2017.

KLEIN, U. A Revolution that never happened. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 49, p. 80-90, 2015.

KLEIN, U. Berzelian formulas as paper tools in early nineteenth-century chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 3, n. 1, p. 7-32, 2001.

KLEIN, U. **Experiments, models, paper tools: Cultures of organic chemistry in the nineteenth century**. Stanford University Press, 2003.

KLEIN, Ursula. Contexts and limits of Lavoisier's analytical plant chemistry: Plant materials and their classification. **Ambix**, v. 52, n. 2, p. 107-157, 2005b.

KLEIN, Ursula. Shifting ontologies, changing classifications: plant materials from 1700 to 1830. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 36, n. 2, p. 261-329, 2005a.

KLIEBARD, H. M. Os princípios de Tyler. **Currículo sem Fronteiras**, v. 11, n. 2, p. 23-35, 2011.

KRAGH, H. **Introdução à historiografia da ciência**. Porto: Editora Porto, 2001.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 9ª ed. 2006.

KUUKKANEN, J.-M. I am knowledge. Get me out of here! On localism and the universality of science. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 42, n. 4, p. 590-601, 2011.

LANDER, E. (org.) **A Colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais: perspectivas latino-americanas**. Buenos Aires: Clacso, 2005.

LATOUR, B. Why has critique run out of steam? From matters of fact to matters of concern. **Critical Inquiry**, v. 30, n. 2, p. 225-248, 2004.

LEDEN, L.; HANSSON, L. Nature of Science progression in school year 1-9: An analysis of the Swedish curriculum and teachers' suggestions. In: 13th International History, Philosophy and Science Teaching Group Biennial Conference, Rio de Janeiro - Brazil, 2015. **Proceedings of …**, p. 1-9, 2015.

LEDERMAN, N. G. et al. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of research in science teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: Past, present, and future. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), **Handbook of Research on Science Education**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-879, 2007.

LEDERMAN, N. G.; LEDERMAN, J. S. Do the ends justify the means? Good Question. But what happens when the means become the ends? **Journal of Science Teacher Education**, v. 27, n. 2, p. 131-135, 2016.

LEDERMAN, N. G.; WADE, P.; BELL, R. L. Assessing understanding of the nature of science: A historical perspective. In: McComas, W. F. (org.) **The nature of science in science education**. Dordrecht: Kluwer, p. 335-350, 1998.

LEWIS, J. H. Contribution of an unknown Negro to anesthesia. **Journal of the National Medical Association**, v. 23, n. 1, p. 23, 1931.

LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the anthropocene. **Nature**, v. 519, n. 7542, p. 171, 2015.

LIMA, N. W. **O lado oculto do fóton: A estabilização de um actante mediada por diferentes gêneros do discurso.** Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 318 p., 2018.

LOPES, A. C. Democracia nas políticas de currículo. **Cadernos de Pesquisa**, v. 42, p. 700-715, 2012.

LOPES, A. C. Normatividade e intervenção política: em defesa de um investimento radical. In: Alice Casimiro Lopes; Daniel de Mendonça. (Org.). **A Teoria do Discurso de Ernesto Laclau: ensaios críticos e entrevistas**. São Paulo: Annablume, p. 117-147, 2015b.

LOPES, A. C. Por um currículo sem fundamentos. **Linhas Críticas**, v. 21, n. 45, 2015a.

LOPES, A. C. Teorias pós-críticas, política e currículo. **Educação, sociedade & culturas**, v. 39, n. 39, p. 7-23, 2013.

LOPES, A. C.; BORGES, V. Currículo, Conhecimento e Interpretação. **Currículo sem Fronteiras**, v. 17, n. 3, p. 555-573, 2017.

LOPES, A. C.; MACEDO, E. **Teorias de currículo**. São Paulo: Cortez, 2011.

LYNCH, M. From normative to descriptive and back: Science and technology studies and the practice turn. **Science after the practice turn in the philosophy, history, and social studies of science**, p. 93-113, 2014.

MACEDO, E. Mas a escola não tem que ensinar? Conhecimento, reconhecimento e alteridade na teoria do currículo. **Currículo sem Fronteiras**, v. 17, n. 3, p. 539-554, 2017.

MAIA, C. A. **História das Ciências: uma história de historiadores ausentes –pré condições para o aparecimento dos *sciences studies*.** Rio de Janeiro: EdUERJ, 2013

MAINARDES, J. Abordagem do ciclo de políticas: Uma contribuição para a análise de políticas educacionais. **Educação & Sociedade**, v. 27, n. 94, p. 47-69, 2006.

MARCONDES, D. **Iniciação à história da filosofia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2007.

MARQUES, A. R.; REIS, P. Production and dissemination of digital videos on environmental pollution. Case Study: Collective research-based Activism. **Revista Eureka sobre Ensenanza y Divulgacion de las Ciencias**, v. 14, n. 1, p. 215-226, 2017.

MARQUES, M. A. **A utilização da controvérsia mendeliano-biometricista na questão da hereditariedade no início do século XX: um caminho para se trabalhar a hereditariedade na educação básica?** Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2016.

MARTINEZ PEREZ, L. F., **Questões Sociocientíficas na Prática Docente: Ideologia, autonomia e formação de professores**. São Paulo: Editora UNESP, 2012.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015.

MARTINS, A. F. P.; RYDER, J. Nature of Science in science education: from 'tenets' to 'themes'. In: GIREP-MPTL 2014 International Conference, Palermo - Italy, 2014. **Proceedings of …** p. 999-1010, 2014.

MARTINS, L. A. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R. A. Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas.** São Paulo: Livraria da Física / Educ / FAPESP, p. 115-145, 2004.

MARTINS, R. A. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: Silva, C. C. (org.) **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 17-30, 2006.

MARTORANO, S. A. A.; MARCONDES, M. E. R. Investigando as ideias e dificuldades dos professores de química do ensino médio na abordagem da história da química. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 6, p. 16-31, 2012.

MATTHEWS, M. “História, filosofia e Ensino: a tendência atual de reaproximação.” **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MATTHEWS, M. R. Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In: **Advances in nature of science research**. Springer, Dordrecht, 2012. p. 3-26.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy and science teaching: a rapprochement. **Studies in Science Education**, v. 18, p. 25-51, 1990.

McCOMAS, W. F. (org.) **The nature of science in science education**. Dordrecht: Kluwer, 1998.

McCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P.; ALMAZROA, H. The role and character of the nature of science in science education. In: McComas, W. F. (org.) **The nature of science in science education**. Dordrecht: Kluwer, p. 3-39, 1998.

MCCOMAS, W. F.; NOURI, N. The nature of science and the next generation science standards: Analysis and critique. **Journal of Science Teacher Education**, v. 27, n. 5, p. 555-576, 2016.

MCCOMAS, W. F.; OLSON, J. K. The nature of science in international science education standards documents. In: McComas, W. F. (org.) **The nature of science in science education**. Dordrecht: Kluwer, p. 41-52, 1998.

MCCOMAS, William F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v. 17, n. 2-3, p. 249-263, 2008.

McGUIRE, J. E.; TUCHANSKA, B. Da ciência descontextualizada à ciência no contexto social e histórico. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 6, n. 2, p. 151-182, 2013.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Ensino-aprendizagem de Ciências e argumentação: discussões e questões atuais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, p. 187-216, 2013.

MILLER, J. L. Teorização do currículo como antídoto contra/na cultura da testagem. **Revista Científica e-Curriculum**, v. 12, n. 3, p. 2043-2063, 2014.

MILNE, C. Cultural Influences on Science Education. In: Gunstone, R. (Ed.) **Encyclopedia of Science Education**, Dordrecht: Springer, 2015. P. 245-248.

MILNE, C. **The Invention of Science: Why History of Science Matters for the Classroom**. Netherlands: Sense Publishers, 2011.

MOCCELIN, R. C. **Lavoisier e a longa revolução na química**. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Programa de Filosofia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 101 p., 2003.

MODY, C. C. M. Scientific Practice and Science Education. **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1026–1032, 2015.

MOREIRA, A. F. B. Currículo e gestão: propondo uma parceria. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação**, v. 21, n. 80, p. 547-61, 2013.

MOURA, C. B. **Discutindo a Natureza da Ciência no Ensino Médio: Um caminho a partir do desenvolvimento dos Modelos Atômicos**. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 224 p., 2014.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Ciência e seus autores: um olhar ao longo da história. In: Roberto D. V. L. Oliveira; Gloria R. P. C. Queiroz. (Orgs.). **Tecendo diálogos sobre direitos humanos na Educação em Ciências**. São Paulo: Livraria da Física, p. 261-285, 2016c.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Cultural History of Science: A Possible Path for Discussing Scientific Practices in Science Teaching? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 749-771, 2016a.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Explorando personagens esquecidos na construção dos modelos atômicos: um caminho para discussão sobre NdC. In: III International History, Philosophy and Science Teaching Group Latinoamerican Conference, Santiago – Chile, 2014. **Proceedings of …** 12p., 2014

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Reflexões sobre o processo de construção da ciência na disciplina de química: um estudo de caso a partir da história dos modelos atômicos. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 64-77, 2016b.

MOURA, C. B.; JAGER, I. T.; GUERRA, A., Teaching about sciences in/for the Global South: the “context” issue revised from a case study in a Brazilian classroom. A aparecer no livro “**Nature of Science and Social Justice**”

MOURA; C. B.; CAMEL, T.; GUERRA, A. Teachers and the historical approach in science education: a view from the everyday curriculum’ perspective. In: XVIII IOSTE Symposium, 2018, Malmö, Sweden. **Future Educational Challenges from Science and Technology Perspectives: XVIII IOSTE Symposium Book of Proceedings** (DOI: 10.24834/978-91-7104-971-1). Malmö: Malmö University, 2018. p. 213-221.

MYERS, R. L. **The 100 most important chemical compounds: a reference guide**. London: Greenwood Press, 2007.

NRC (National Research Council). **A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts and core ideas**. Washington, D.C., National Academy Press, 2012.

NYHART, L. Historiography of the History of Science. In: Lightman, B. (ed.), **A Companion to the History of Science**. Oxford: Wiley Blackwell, p. 7-22, 2016.

OKI, M. da CM. Paradigmas, crises e revoluções: a história da química na perspectiva kuhniana. **Revista Química Nova na escola**, n. 20, p. 32-37, 2004.

OKI, Maria da Conceição Marinho. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, 2009.

OKI, Maria da Conceição Marinho; MORADILLO, Edílson Fortuna de. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

OLIVEIRA, I. B. Currículo e processos de aprendizagemensino: Políticaspráticas Educacionais Cotidianas. **Currículo sem Fronteiras**, v. 13, n. 3, p. 375-391, 2013.

ORESKES, N. The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong? In: DiMento, J. F. C.; Doughman, P. (Orgs.) **Climate change: What it means for us, our children, and our grandchildren**, p. 105-148, 2007.

OSBORNE, J. Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. **Journal of Science Teacher Education**, v. 25, n. 2, p. 177-196, 2014.

OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R., DUSCHL, R. What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. **Journal of research in science teaching**, v. 40, n. 7, p. 692-720, 2003.

OXFORD UNIVERSITY PRESS, Word of the Year 2016 is..., **Oxford Dictionaries**, 2018. Disponível em: <https://en.oxforddictionaries.com/word-of-the-year/word-of-the-year-2016>. Acessado em 05/04/2018.

PACHECO, José Augusto. Reconceptualização curricular: os caminhos de uma teoria curricular crítica. **Perspectiva**, v. 18, n. 33, p. 11-34, 2000.

PAIS, A.; COSTA, M. An ideology critique of global citizenship education. **Critical Studies in Education**, p. 1-16, in press, 2017.

PARTINGTON, J. R. **A History of Chemistry – Vol. III.** London: McMillan & Co, 1962.

PESTRE, D. Por uma nova história social e cultural das ciências: novas definições, novos objetos, novas abordagens. **Cadernos IG/Unicamp**, v. 6, n. 1, p. 3-56, 1996.

PESTRE, D.; ROMERO, M. A nova história das ciências: entrevista com Dominique Pestre. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 23, n. 3, 2016.

PETERS, M. **Pós-estruturalismo e filosofia da diferença: uma introdução**. São Paulo: Autêntica, 2000.

PIMENTEL, J. La Revolucíon Científica. In: Artola, M. (dir.) **Historia de Europa: Tomo II**. Madrid: Espasa Calpe, p. 163 – 238, 2007.

PIMENTEL, Juan. ¿Qué es la historia cultural de la ciencia? **Arbor**, v. 186, n. 743, p. 417-424, 2010.

PINHÃO, F.; MARTINS, I. Cidadania e ensino de ciências: questões para o debate. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, 2016.

POPKEWITZ, Thomas S. PISA: números, estandarización de la conducta y la alquimia de las materias escolares. **Profesorado. Revista de currículum y formación de profesorado**, v. 17, n. 2, p. 47-64, 2013.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: Santos, W. L. P.; O. A. Maldaner (orgs.) **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Editora Unijuí, p. 159-180, 2010.

PRIESNER, C. Spiritus Aethereus—Formation of Ether and Theories on Etherification from Valerius Cordus to Alexander Williamson. **Ambix**, v. 33, n. 2-3, p. 129-152, 1986.

RAGEP, F. J. (2007). Copernicus and his Islamic predecessors: Some historical remarks. **History of science**, v. 45, n. 1, p. 65-81, 2007

REID, R. Past and presentism: the 'precolonial'and the foreshortening of African history. **The Journal of African History**, v. 52, n. 2, p. 135-155, 2011.

REIS JÚNIOR, A. O primeiro a utilizar anestesia em cirurgia não foi um dentista. Foi o Médico Crawford Williamson Long. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 56, n. 3, p. 304-324, 2006.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Ciência e arte: relações improváveis. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 13, p. 71-87, 2006.

ROCHA, M. N.; GURGEL, I. Descriptive Understandings of the Nature of Science: Examining the Consensual and Family Resemblance Approaches. **Interchange**, v. 48, n. 4, p. 403-429, 2017.

ROCHA, M.; GURGEL, I. On the ineffectiveness of HPS to conceptual understanding: an analysis inspired by Wittgenstein. In: 13th International History, Philosophy and Science Teaching Group Biennial Conference, 2015, Rio de Janeiro. **Proceedings of...**, 2015.

ROCKE, Alan J. **The quiet revolution: Hermann Kolbe and the science of organic chemistry**. Univ of California Press, 1993.

ROUSE, J. Scientific practice and the scientific image. In: Soler, L.; Zwart, S.; Lynch, M.; Israel-Jost, V. (orgs.) **Science After the Practice Turn in the Philosophy, History, and Social Studies of Science**, v. 14, p. 277-294, 2014.

RUDOLPH, J. L. Science Studies. In: Gunstone, R. (Ed.) **Encyclopedia of Science Education**. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 914 - 917, 2015.

RUDOLPH, J. L.; HORIBE, S. What do we mean by science education for civic engagement? **Journal of Research on Science Teaching**, v. 53, n. 6, p. 805-820, 2016.

SANTOS, B. S. A Ecologia de saberes. In: Santos, B. S. **A Gramática do Tempo: para uma nova cultura política – Vol. 4**. São Paulo: Cortez Editora, p. 137-165, 2008.

SANTOS, B. S. **Epistemologies of the South: Justice against epistemicide**. NY: Routledge, 2016.

SANTOS, B. S. Para além do pensamento abissal: das linhas globais a uma ecologia de saberes. In: Santos, B. S.; Meneses M. (Orgs.) **Epistemologias do Sul**. Coimbra: Almedina, p. 23-72, 2010a.

SANTOS, B. S. Para uma sociologia das ausências e uma sociologia das emergências. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 63, p. 237-280, 2002.

SANTOS, B. S. **Um discurso sobre as ciências**. São Paulo: Cortez Editora, 1987/2008.

SANTOS, B. S. Um ocidente não-ocidentalista?: a filosofia à venda, a douta ignorância e a aposta de Pascal. In: Santos, B. S. & Meneses M. (Orgs.) **Epistemologias do Sul**. Coimbra: Almedina, p. 445-486, 2010b.

SANTOS, B. S.; MENESES, M. Introdução. In: Santos, B. S.; Meneses M. (Orgs.) **Epistemologias do Sul**. Coimbra: Almedina, p. 9-20, 2010.

SANTOS, M. Uso da História da Ciência para Favorecer a Compreensão de Estudantes do Ensino Médio sobre Ciência. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 2, p. 641-668, 2018.

SCHATZKI, T. Practice as collective action. In: T. Schatzki, K. Knorr-Cetina, E. von Savigny (eds.) **The Practice Turn in Contemporary Theory**. London & NY: Routledge, 2005.

SHAPIN, S. Discipline and bounding: The history and sociology of science as seen through the externalism-internalism debate. **History of science**, v. 30, n. 4, p. 333-369, 1992.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1602.1-1602.10, 2008.

SILVA, T. T. **Documentos de Identidade: uma introdução às teorias de currículo**. Editora Autêntica, 2015.

SMITH, M. U.; LEDERMAN, N. G.; BELL, R. L.; McCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. F. How great is the disagreement about the nature of science: A response to Alters. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 10, p. 1101-1103, 1997.

SNOW, S. J. **Blessed days of anaesthesia: how anaesthetics changed the world**. Oxford University Press, 2009.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. History and Epistemology of Science in the Classroom: The Synthesis of Quinine as a Proposal. **Journal of Chemical Education**, v. 89, p. 58-63, 2012.

SOUZA, R. S.; SILVA, A. P. B.; ARAUJO, T. S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: reproduzindo as dificuldades do laboratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 3309.1-3309.9, 2014

SÜSSEKIND, M. L. Taking Advantage of the Paradigmatic Crisis: Brazilian Everyday Life Studies as a new epistemological approach to the understanding of teachers' work. **Citizenship, Social and Economics Education**, v. 13, n. 3, p. 199-210, 2014.

TERRALL, M. Frogs in the Mantelpiece: The practice of Observation in Daily Life. In: Daston, L. & Lunbeck, E. (Eds.) **Histories of Scientific Observation.** Chicago: University of Chicago Press, p. 185-205, 2011.

THENARD, L. J. Mémoire sur les Éthers. **Mémoires de Physique et de Chimie de la Société d'Arcueil**, v. 1, p. 73-114, 1807.

TOLBERT, Sara; BAZZUL, Jesse. Toward the sociopolitical in science education. **Cultural Studies of Science Education**, v. 12, n. 2, p. 321-330, 2017.

TOLEDO, R. F.; JACOBI, P. R. Pesquisa-ação e educação: compartilhando princípios na construção de conhecimentos e no fortalecimento comunitário para o enfrentamento de problemas. **Educação & Sociedade**, v. 34, n. 122, p. 155-173, 2013.

TOTI, F. A. **Educação Científica e Cidadania: as diferentes concepções e funções do conceito de cidadania nas pesquisas em Educação em Ciências.** Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos, 267 p., 2011.

TRISCHLER, H. The Anthropocene: A Challenge for the History of Science, Technology, and the Environment. **NTM**, v. 24, n. 3, p. 309-335, 2016.

TRIZIO, E. Is Rouse's Scientific Image really scientific? Commentary on "Scientific Practice and the Scientific Image", by Joseph Rouse. In: Soler, L.; Zwart, S.; Lynch, M.; Israel-Jost, V. (orgs.) **Science After the Practice Turn in the Philosophy, History, and Social Studies of Science**, v. 14, p. 295-300, 2014.

VAN EIJCK, M.; ROTH, W.-M. Keeping the local local: Recalibrating the status of science and traditional ecological knowledge (TEK) in education. **Science Education**, v. 91, n. 6, p. 926-947, 2007.

VESTERINEN, V.-M. ; MANASSERO MAS, M. A.& VÁZQUEZ ALONSO, A. History, Philosophy, and Sociology of Science and Science-Technology-Society Traditions in Science Education: Continuities and Discontinuities. In: Michael R. Matthews (ed.), **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. 1895-1925, 2014

VESTERINEN, V.-M.; TOLPPANEN, S.; AKSELA, M. Toward citizenship science education: what students do to make the world a better place? **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 1, p. 30-50, 2016.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. The development of Dalton's atomic theory as a case study in the history of science: Reflections for educators in chemistry. **Science & Education**, v. 19, n. 1, p. 75, 2010.

VIANA, Hélio Elael Bonini; PORTO, Paulo Alves. Thomas Midgley, Jr., and the development of new substances: A case study for chemical educators. **Journal of Chemical Education**, v. 90, n. 12, p. 1632-1638, 2013.

VIDEIRA, A. A. P. Historiografia e história da ciência. **Escritos (Fundação Casa de Rui Barbosa)**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 111-158, 2007.

WALDEN, P. The problem of duplication in the history of chemical discoveries. **Journal of Chemical Education**, v. 29, n. 6, p. 304, 1952.

WALLAU, W. M. Química na Poesia e Poesia na Química. **Química Nova**, v. 37, n. 10, p. 1721-1731, 2014.

WALLS, Leon. Third grade African American students' views of the nature of science. **Journal of research in Science Teaching**, v. 49, n. 1, p. 1-37, 2012.

WASHINGTON, Harriet A. **Medical apartheid: The dark history of medical experimentation on Black Americans from colonial times to the present**. Doubleday Books, 2006.

WHITTAKER, E. T. **A History of the Theories of Aether and Electricity from the Age of Descartes to the Close of the Nineteenth Century**. Longmans, Green and Company, 1910.

WISNIAK, J. Antoine Francois de Fourcroy. **Revista CENIC. Ciencias Químicas**, v. 36, n. 1, p. 54-62, 2005.

WISNIAK, J. Félix-Polydore Boullay. **Revista CENIC. Ciencias Químicas**, v. 41, n. 1, p. 59-66,2010.

WISNIAK, J. Louis-Jacques Thenard. **Revista CENIC. Ciencias Químicas**, v. 33, n. 3, p. 141-149, 2002.

WISNIAK, J. Louis-Nicolas Vauquelin. **Revista CENIC. Ciencias Químicas**, v. 34, n. 1, p. 47-54, 2003.

WISNIAK, J. Pierre-François Guillaume Boullay. **Anales de la Real Sociedad Española de Química**, n.110, v.4, p. 303-312, 2014.

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