



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Anabel Cardoso Raicik

Experimentos *exploratórios* e experimentos *cruciais* no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino

Florianópolis

2019

Anabel Cardoso Raicik

Experimentos *exploratórios* e experimentos *cruciais* no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutora em Educação Científica e Tecnológica
Orientador: Prof. Dr. José André Peres Angotti

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Raicik, Anabel Cardoso

Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino / Anabel Cardoso Raicik ; orientador, José André Peres Angotti, 2019.

330 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Ensino de Ciências. 3. História e Filosofia da Ciência. 4. Experimentação. 5. Galvani e Volta. I. Angotti, José André Peres . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.

Anabel Cardoso Raicik

Experimentos *exploratórios* e experimentos *cruciais* no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo
Universidade Federal do Mato Grosso

Prof. Dr. Breno Arsioli Moura
Universidade Federal do ABC

Prof. Dr. Fábio Peres Gonçalves
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. André Koch Torres Assis
Universidade Estadual de Campinas

Profa. Dra. Tatiana da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Educação Científica e Tecnológica.

Profa. Dra. Cláudia Regina Flores
Coordenadora do Programa

Prof. Dr. José André Peres Angotti
Orientador

Florianópolis, 2019.

À Deus, que sempre segura a minha mão.

Àquela que chega entre os capítulos 1 e 2, ilumina e transforma o meu coração, rega as flores do jardim da minha vida, inunda-me de puro amor... àquela que, sem precisar dizer uma palavra, proclama um te amo infinitamente à minha alma...

Àquele que com seu olhar fala ao meu coração, com seu toque acalma a minha alma, com sua vida completa a minha...

AGRADECIMENTOS

A Luiz Orlando e Emma que, juntos, são minha vida, meu refúgio, minha inspiração, minha luz e meu todo

À minha família pelo apoio, ajuda e amor

Ao professor Angotti, toda minha gratidão

Aos membros da banca, professora Iramaia, professor Breno, professor Fábio, professor Fred, professor Assis e professora Tatiana

Aos colegas do grupo de pesquisa e ao PPGECT

*“Numa folha qualquer
Eu desenho um sol amarelo
E com cinco ou seis retas
É fácil fazer um castelo*

*Corro o lápis em torno da mão
E me dou uma luva
E se faço chover, com dois riscos
Tenho um guarda-chuva*

*Se um pinguinho de tinta
Cai num pedacinho azul do papel
Num instante imagino
Uma linda gaivota a voar no céu (...)*

(Aquarela – Toquinho)

“Em um projeto de vida o que é prazeroso continua...”

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

RESUMO

A educação científica, em diferentes níveis, ainda carece de contextualizações histórico-filosóficas acerca dos papéis que o experimento pode assumir na construção de conhecimentos científicos. Não obstante, a partir da década de 1980, em decorrência das discussões que ‘revolucionaram’ a epistemologia com Karl Popper, Norwood Hanson, Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Imre Lakatos, entre outros notórios que, por entre as suas divergências, apresentam críticas convergentes à escola empiricista, novas reflexões acerca da experimentação na ciência foram desenvolvidas. Ian Hacking é um precursor nesse sentido, com sua máxima de que a experimentação pode ‘ter vida própria’. Associado ao “novo experimentalismo”, o físico e historiador da ciência alemão Friedrich Steinle discute uma classe de experimentação que denominou exploratória, identificada amplamente na história da ciência. Possuindo procedimentos de caráter notadamente qualitativo, esse tipo de experimento evidencia uma intensa relação entre hipóteses e experimentação e contribui para questionar uma visão empírico-indutivista da ciência. Com efeito, a análise de certas controvérsias científicas permite, além da discussão de experimentos exploratórios, a contextualização do papel que o componente empírico exerce na escolha teórica. Não é incomum associar-se, no ensino de ciências, a resolução de querelas à experimentos ditos cruciais; que per si, de forma instantânea e definitiva permitem a escolha entre teorias distintas. Nesse sentido, o objetivo geral da presente pesquisa é analisar as possíveis funções que o experimento pode assumir na controvérsia entre Galvani e Volta, acerca da eletricidade animal, e desenvolver Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, para diferentes níveis de ensino, que comportem, por meio da articulação da História e Filosofia da Ciência contemporânea e de princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, considerações epistemológicas acerca da experimentação e discussões relativas à Natureza da Ciência.

Palavras-chave: Experimentação. História e Filosofia da Ciência. Natureza da Ciência. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

ABSTRACT

Scientific education, at different levels, still lacks historical-philosophical contextualizations about the roles that the experiment can assume in the construction of scientific knowledge. However, from the 1980s onwards, as a result of discussions that 'revolutionized' epistemology with Karl Popper, Norwood Hanson, Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Imre Lakatos, among other notables who, among their differences, presenting convergent criticisms of the empiricist school, new reflections on experimentation in science were developed. Ian Hacking is a precursor in this sense, with his maxim that experimentation can have a life of its own. Associated with the "new experimentalism", the German physicist and historian of science Friedrich Steinle discusses an experimentation class he called exploratory, widely identified in the history of science. Having procedures of remarkably qualitative character, this type of experiment shows an intense relationship between hypotheses and experimentation and contributes to question an empirical-inductivist view of science. Indeed, the analysis of certain scientific controversies allows, in addition to the discussion of exploratory experiments, the contextualization of the role that the empirical component plays in the theoretical choice. It is not uncommon to associate disputing in science teaching with so-called crucial experiments; which in themselves instantly and definitively allow the choice between different theories. In this sense, the general objective of the present research is to analyze the possible functions that the experiment may assume in the controversy between Galvani and Volta, about animal electricity, and to develop Potentially Significant Teaching Units, for different levels of education, that hold, through of the articulation of the History and Philosophy of Contemporary Science and principles of David Ausubel's Meaningful Learning Theory, epistemological considerations about experimentation and discussions concerning the Nature of Science.

Keywords: Experimentation. History and Philosophy of Science. Nature of science. Potentially Significant Teaching Units.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1 EXPERIMENTOS EXPLORATÓRIOS E <i>EXPERIENTIA LITERATA</i>: (RE) PENSANDO A EXPERIMENTAÇÃO.....	31
1.1 INTRODUÇÃO.....	31
1.2 PRELÚDIO AO MÉTODO EXPERIMENTAL INDUTIVO: BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE O <i>NOVUM ORGANUM</i>	34
1.3 <i>EXPERIENTIA LITERATA</i> : A LABAREDA QUE BACON ACENDEU.....	37
1.4 <i>NOVUM ORGANUM</i> E <i>EXPERIENTIA LITERATA</i> : O MÉTODO LEMBRADO E A CHAMA DESMEMORIADA.....	41
1.5 EXPERIMENTAÇÕES EXPLORATÓRIAS: NOVAS PERSPECTIVAS NA FILOSOFIA EXPERIMENTAL.....	44
1.6 IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS: UM NOVO OLHAR PARA A EXPERIMENTAÇÃO.....	52
2 DA <i>INSTANTIA CRUCIS</i> AO EXPERIMENTO CRUCIAL: DIFERENTES PERSPECTIVAS NA FILOSOFIA E NA CIÊNCIA.....	63
2.2 INTRODUÇÃO.....	63
2.2 <i>INSTANTIAS CRUCIS</i> : A ENCRUZILHADA DE BACON.....	66
2.3 EMPREGO DO TERMO <i>EXPERIMENTUM CRUCIS</i> NO INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA: OS ESTUDOS DE NEWTON SOBRE LUZ E CORES.....	69
2.4 EXPERIMENTOS CRUCIAIS: INCONSONÂNCIAS NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA.....	73
2.5 ENSINO DE CIÊNCIAS E EXPERIMENTOS CRUCIAIS: BARREIRAS A ENFRENTAR.....	78
3 UMA ANÁLISE DA ILUSTRAÇÃO DO <i>EXPERIMENTUM CRUCIS</i> DE NEWTON EM MATERIAIS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA.....	89
3.1 INTRODUÇÃO.....	89
3.2 RELATOS EXPERIMENTAIS NO SÉCULO XVII: A RELEVÂNCIA DAS ILUSTRAÇÕES.....	91
3.3 AS ILUSTRAÇÕES DE NEWTON DO <i>EXPERIMENTUM CRUCIS</i>	93
3.4 O DISCURSO DA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: AS ILUSTRAÇÕES DOS EXPERIMENTOS SOBRE LUZ E CORES DE NEWTON.....	97
3.5 NEWTON E A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO.....	104

4 A ESTRUTURA CONCEITUAL E EPISTEMOLÓGICA DE UMA CONTROVÉRSIA CIENTÍFICA: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	111
4.1 INTRODUÇÃO.....	111
4.2 CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS: GÊNESES E DEFINIÇÕES.....	113
4.3 DISTINTAS ANÁLISES DE CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS: A COMPLEXIDADE DO TEMA.....	116
4.3.1 Baltas e as suposições de fundo: uma análise singular sobre controvérsias científicas.....	119
4.3.2 Controvérsias científicas não-revolucionárias, segundo Goodwin.....	121
4.4 CONTROVÉRSIAS <i>ANALÍTICAS, RESISTIVAS E ARGUMENTATIVAS</i> : UMA CLASSIFICAÇÃO.....	123
4.4.1 Controvérsias analíticas.....	124
4.4.2 Controvérsias resistivas: plurais e céticas.....	127
4.4.3 Controvérsias argumentativas.....	130
4.5 NO TOCANTE AS CONTROVÉRSIAS <i>ANALÍTICAS, RESISTIVAS E ARGUMENTATIVAS</i> : UMA SÍNTESE (IN)ACABADA.....	134
5 A ESCOLHA TEÓRICA EM CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS: VALORES E SEUS JUÍZOS À LUZ DE CONCEPÇÕES KUHNIANAS.....	143
5.1 INTRODUÇÃO.....	143
5.2 CONTROVÉRSIAS NA CIÊNCIA: O DILEMA DE UM ÀRBITRO IMPARCIAL.....	146
5.3 A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E VALORES: UMA PERSPECTIVA KUHNIANA DE ESCOLHA TEÓRICA NA CIÊNCIA.....	148
5.3.1 Valores, nem sempre suficientes, para a escolha de uma boa teoria.....	150
5.4 O DESFECHO DE CONTROVÉRSIAS NA CIÊNCIA: A VISÃO DE McMULLIN.....	152
5.5 CONTROVÉRSIAS, VALORES E O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	156
6 A RÃ ENIGMÁTICA E OS EXPERIMENTOS EXPLORATÓRIOS: DOS ESTUDOS INICIAIS DE GALVANI À SUA TEORIA DA ELETRICIDADE ANIMAL.....	165
6.1 INTRODUÇÃO.....	165
6.2 LUIGI GALVANI E SUA FORMAÇÃO ACADÊMICA.....	169
6.3 AS IMERSÕES DE GALVANI ÀS NOVAS CONCEPÇÕES CIENTÍFICAS DA ÉPOCA: O FLUÍDO NERVO-ELÉTRICO E OS PEIXES ELÉTRICOS.....	172

6.4 OS ESTUDOS DE GALVANI: O (BRILHANTE) ENAMORADO PELA RÃ ENIGMÁTICA.....	176
6.4.1 O “primeiro experimento”: o acaso inapto ou a casualidade destinada a uma mente preparada?.....	180
6.4.2 O “segundo experimento”: a sagacidade de um momento fortuito.....	183
6.4.3 Dilemas e soluções: da analogia ao modelo da garrafa de Leiden animal.....	188
6.5 O <i>DE VIRIBUS</i> , A SUA COMOÇÃO E CONSIDERAÇÕES PARA UM ENSINO <i>SOBRE</i> A CIÊNCIA.....	193
7 GALVANI, VOLTA E OS EXPERIMENTOS CRUCIAIS: A EMBLEMÁTICA CONTROVÉRSIA DA ELETRICIDADE ANIMAL.....	203
7.1 INTRODUÇÃO.....	203
7.2 O ENIGMA DA CONTRAÇÃO MUSCULAR: O ANATOMISTA, O FÍSICO E A RÃ SURPREENDENTE.....	206
7.2.1 Volta e os metais: a teoria especial da eletricidade por contato.....	213
7.3 GALVANI E O TRATADO DO ARCO CONDUTOR: O ANÔNIMO CRÍTICO DE VOLTA.....	215
7.3.1 O “terceiro experimento” de Galvani e seu apelo crucial.....	217
7.4 REAÇÃO E VOLTA: A TEORIA GERAL DA ELETRICIDADE POR CONTATO.....	220
7.4.1 Nova teoria geral da eletricidade por contato: o apelo crucial do experimento de Volta.....	222
7.5 A ÚLTIMA MEMÓRIA DE GALVANI: O “QUARTO EXPERIMENTO” E SUA INVOCAÇÃO CRUCIAL.....	225
7.6 O CONTRA-ATAQUE (FINAL) DE VOLTA.....	229
7.7 A CRUCIALIDADE DOS EXPERIMENTOS NA CONTROVÉRSIA: IMPLICAÇÕES (SEMPRE) INACADAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	232
8 O TÉRMINO DE UMA CONTROVÉRSIA NÃO RESOLVIDA: A ENIGMÁTICA QUERELA ENTRE GALVANI, VOLTA E UM SAPO A(INI)MIGO.....	245
8.1 INTRODUÇÃO.....	245
8.2 DIVULGAÇÃO DA PILHA: O ÓRGÃO ELÉTRICO ARTIFICIAL.....	249
8.3 A SOBERANIA DE UM APARELHO E O ESQUECIMENTO DE UM SAPO ENIGMÁTICO: UMA QUERELA TERMINADA, MAS NÃO RESOLVIDA.....	252
8.4 O SAPO ENIGMÁTICO, SEUS DOIS A(INI)MIGOS E ALGUMAS (POSSÍVEIS) LIÇÕES EPISTEMOLÓGICAS: IMPLICAÇÕES PARA UM ENSINO <i>SOBRE</i> CIÊNCIA.....	256

9	NOS EMBALOS DA HFC: DISCUSSÕES SOBRE A EXPERIMENTAÇÃO E ASPECTOS RELATIVOS À NDC EM UEPS.....	269
9.1	INTRODUÇÃO.....	269
9.2	PRINCÍPIOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM REFERENCIAL EDUCACIONAL.....	271
9.3	UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS: UM REFERENCIAL METODOLÓGICO.....	276
9.4	HFC E NDC EM UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA.....	278
9.4.1	UEPS 1 – A rã e suas histórias: a gênese e o desenrolar de uma controvérsia....	280
9.4.2	UEPS 2 – Luigi Galvani e a coreografia das rãs: experimentos exploratórios na ciência.....	289
9.4.3	UEPS 3 – Valores na aceitação de um novo conhecimento: a a(ini)mizade entre um sapo, um físico e um anatomista.....	293
9.4.4	UEPS 4 – Nos encantos da história, vamos descobrir que relação pode ter entre um sapo e uma garrafa de Leiden?.....	295
9.4.5	UEPS 5 – O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores.....	298
9.5	NA PROFICUIDADE DE UEPS: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.....	302
	NO DESFECHO DE UMA TESE HISTÓRICO-FILOÓFICA VOLTADA AO ENSINO DE CIÊNCIAS: ALGUMAS PONDERAÇÕES E DESDOBRAMENTOS.....	313
	O LEITOR DOS ARTIGOS: OS CAPÍTULOS DA TESE E SUA RELAÇÃO COM OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	315
	O LEITOR DA TESE: A RELAÇÃO SOBREPOSTA ENTRE OS ARTIGOS COMO FOMENTADORA DA DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E DA RECONCILIAÇÃO INTEGRATIVA.....	321
	A TESE E SEUS DESDOBRAMENTOS: O EMERGIR DE NOVOS ESTUDOS...328	

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas a literatura vem defendendo a utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC) na educação científica (DAMASIO; PEDUZZI, 2017; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2012; FORATO *et al.*, 2011; CLOUGH; OSLON, 2008; MARTINS, 2006; PEDUZZI, 2005; McCOMAS *et al.* 1998; MATTHEWS, 1995; HODSON, 1986). Um ensino contextualizado histórica e filosoficamente pode permitir, além de uma melhor compreensão de conceitos científicos, a análise de uma ciência subjetiva, mutável, controversa, dependente do contexto sociocultural de seu período, permeada por diversas concepções metodológicas. Discussões sobre a Natureza da Ciência (NdC), como as apresentadas por Peduzzi e Raicik (2019) e por Gil Pérez *et al.* (2001), também podem ser viabilizadas por meio dessa abordagem (MOURA, 2014).

No ensino de ciências, é recorrente a vulgarização da função da experimentação no desenvolvimento científico. A visão empírico-indutivista, que realça o papel neutro da observação e omite as hipóteses que (re) orientam a atividade científica, ou aquela que limita o experimento a apenas corroborar (ou refutar) teorias¹ estão, ainda, presentes nos materiais didáticos, nos discursos de professores e/ou nas concepções prévias dos alunos (EL-HANI, 2006; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; GIL PÉREZ *et al.*, 2001; HARRES, 1999; MOREIRA; OSTERMANN, 1993).

Todavia, para a filosofia contemporânea, essas são noções ultrapassadas. O ‘novo experimentalismo’ que surgiu por volta de 1980 – por consequência das discussões que filósofos como Karl Popper, Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Paul Feyerabend, Norwood Hanson protagonizaram em meados do século passado –, notabiliza-se por valorizar a experimentação em suas distintas funções. O livro “Representar e Intervir”, de Ian Hacking (2012), é um exemplo dessa renovada corrente filosófica. Hacking atentou para o fato de a experimentação ‘ter uma vida própria’, ou seja, salientou que ela apresenta variados papéis na ciência e se relaciona de forma peculiar com a teoria. Isto é, “a experiência enquadra-se num

¹ Na literatura, de modo geral, não há preocupações em definir o que se entende por “teoria”. Diversos autores utilizam o termo com diferentes concepções – referem-se a corpos de conhecimentos bem estruturados e estabelecidos, convicções teóricas, hipóteses, conjecturas, leis. Contudo, pode-se dizer, “leis são generalizações, princípios ou padrões na natureza; teorias são as explicações para essas generalizações” (McCOMAS, 1998, p. 54). Teorias, como redes conceituais, são instrumentos intelectuais de explicação, predição, controle, pesquisa (HACKING, 2012, p. 119). Não obstante, essa definição nada tem de trivial, como salienta Suppes (1979, p. 119): “se alguém pergunta ‘que é uma teoria científica’, não me parece que haja uma resposta simples a ser dada”.

método pouco estruturado, que comporta uma diversidade de caminhos, ajustando-se ao contexto e à própria situação investigativa” (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002, p. 257). Nessa perspectiva, um experimento, em geral, não se limita a corroborar (ou refutar) uma teoria, mas pode ensejar bases para o conhecimento, contrastar e propiciar novas teorias, apresentar e classificar fenômenos novos, fornecer pistas matemáticas para uma teoria, apresentar evidências empíricas etc. (FRANKLIN, 2002).

O físico e historiador da ciência alemão Friedrich Steinle (2006; 2002; 1997) argumenta que há uma classe de experimentação que, por muito tempo, teve suas funções epistêmicas negligenciadas. A *experimentação exploratória*, tal como ele a entende, amplamente presente na história da ciência, indica uma série de procedimentos, notadamente de caráter qualitativo, que não seguem critérios bem estabelecidos, prescindem de *um* método e, conseqüentemente, possuem uma pluralidade metodológica. Normalmente, ocorrem em períodos da ciência em que não há um corpo teórico bem definido no campo da pesquisa. Nesse sentido, um contexto típico dessa experimentação é aquele da formação de quadros classificatórios e conceituais. Os experimentos exploratórios são conduzidos pelo desejo de compreender a natureza, pela busca de regularidades elementares, pela procura de novas descobertas; propiciam proficuamente a dinâmica entre hipóteses e experimentação na construção do conhecimento científico.

Não obstante, embora haja novas reflexões sobre o experimento no âmbito da filosofia da ciência contemporânea, o ensino de ciências ainda aborda uma concepção equivocada e limitada epistemologicamente dele, como supracitado. Alves Filho (2000) apresenta um conjunto de classes de atividades experimentais, em uma perspectiva construtivista que, distante de uma prescrição, pode auxiliar o processo de ensino-aprendizagem em diferentes momentos do diálogo didático que ocorre em uma sala de aula. Dentre distintas categorias, o autor apresenta a “atividade experimental histórica” que, entre outras coisas, visa romper com uma simples reconstrução lógica do conhecimento científico – presente fortemente nos materiais didáticos – que, por certo, minimizam ou ignoram uma contextualização histórica da ciência. Alves Filho (2000) frisa que a “recontextualização histórica permite criar um cenário didático rico e diversificado” (p. 273). Isto é, em muitos casos, “favorece a discussão sobre os métodos de investigação, as “observações” intencionadas, as respectivas interpretações, os conflitos científico e pessoal entre seus personagens” (p. 272), etc.

O certo é que a dimensão experimental da ciência tem sido resgatada por alguns grupos de pesquisa que, a partir de perspectivas distintas, têm se dedicado à reprodução ou à discussão

de ‘experimentos históricos’ com finalidades educacionais (KIPNIS, 2005; 2001; MEDEIROS; MONTEIRO JR, 2001; ASSIS, 2011; 2018; RAICIK, 2015). Embora esses grupos estejam buscando desenvolver projetos nessa linha, como apresentam Campos *et al.* (2013), a partir de uma análise em teses e dissertações entre 2002 e 2011, em nível nacional, apenas 4% das pesquisas que abordam a experimentação a articulam com a HFC.

Um dos meios para a discussão do papel do experimento na ciência é através da análise de controvérsias científicas. Elas são encontradas facilmente na história da ciência. Contudo, o que não é tão óbvio é que “(...) há uma espécie de dissociação paradoxal entre a ciência como realmente é praticada e a ciência como percebida ou representada por cientistas e filósofos” (MACHAMER *et al.*, 2000, p.3). Até meados do século passado era consenso que, quando de um desacordo científico, bastava basicamente procurar a evidência empírica para dar fim a um debate. Para os defensores da dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa (REICHENBACH, 1938), por exemplo, não deveriam existir controvérsias; à luz de uma concepção de ciência que situa o foco do conhecimento apenas nos resultados, a ciência não pode se apresentar senão como um corpo de conhecimento lógico, sem conflitos e livre de elementos ‘irracionalis’². Entretanto, o conhecimento científico não é somente baseado em evidências empíricas; é produto de um conjunto de elementos culturais, históricos, que as inclui, uma vez que “a evidência não está lá fora presente aos nossos sentidos como uma maçã em uma árvore pronta para ser colhida” (MACHAMER *et al.*, 2000, p. 14-15). Toda observação e experimentação são subsidiadas, entre outros fatores, pelos pressupostos conceituais de cada estudioso. Não há neutralidade na ciência.

Uma das maiores controvérsias da história da ciência (BERNARDI, 2001), entre Luigi Galvani e Alessandro Volta acerca da eletricidade animal, ilustra isso. As investigações referentes à eletricidade animal não foram destinadas, apenas, a corroborar hipóteses, mas, sobretudo, a questionar a natureza. Assim, cada novo experimento trazia a expectativa de novos resultados (TRUMPLER, 1997). Entre dúvidas e constructos teóricos fundamentados, porém inseridos em um campo de conhecimento ainda incipiente, o desenvolvimento de experimentos possibilitava a elaboração, verificação, reformulação de (novas) hipóteses – sempre que as anteriores eram contrastadas com as ‘teorias’ adversárias. “Nenhum dos dois lados estava disposto a revelar as suas próprias deficiências teóricas até que fossem forçados a fazê-los” (KIPNIS, 2001, p. 43). Não obstante, era preciso buscar ‘falhas’ nos experimentos dos

²“Nenhum processo essencial ao desenvolvimento científico pode ser rotulado de "irracional" sem que se cometa enorme violência ao sentido do termo” (KUHN, 2006, p. 160).

opponentes. A controvérsia Galvani-Volta pode ter sido terminada pelas circunstâncias e não pela experimentação (COHEN, 1992). Contudo, ao longo do debate acirrado entre esses dois estudiosos, a experimentação teve um papel fundamental para as argumentações e apresentou distintas funções nesse percurso.

No tocante à noção das controvérsias e litígios no ensino de ciências, acredita-se geralmente que eles são resolvidos por meio de experimentos críticos (cruciais) (HODSON, 1988). A ideia de um experimento definidor, que possibilita que uma hipótese seja rejeitada e outra aceita com base, somente, no seu resultado, “traz consigo um pressuposto de que evidências independentes de teorias estão disponíveis, e que testes não ambíguos são possíveis” (HODSON, 1988, p. 55). A análise da gênese de uma controvérsia, da sua dinâmica e do seu desenrolar, pode permitir a explicitação da relevância do experimento na construção do conhecimento e “mostrar que uma mesma experiência pode dar origem a diferentes teorias” (KIPNIS, 2001, p.33).

O conceito de um *experimento crucial* demanda, portanto, discussões pontuais. Lakatos (1974), por exemplo, admite que somente com um distanciamento histórico se pode atribuir a um experimento o *status* de crucial. Popper (1982) afirma que um experimento crucial é aquele que refuta uma determinada teoria. Duhem (2014) assegura que não existem experimentos cruciais. Analisando diferentes perspectivas filosóficas, e ainda episódios históricos, percebe-se que a concepção de experimento crucial é polêmica; isso evidencia que o tema merece maior atenção, inclusive (e principalmente) na educação científica.

Por certo, como ressalta Steinle (1997), a compreensão dos diversos papéis assumidos pelo experimento na ciência só pode ser plenamente alcançada por meio de sua análise histórico-filosófica. No ensino, toda opção didática da história tem uma articulação inevitável com a filosofia da ciência. Kragh (1992) salienta que não é possível, e nem desejável, trabalhar em uma completa perspectiva histórica, mas que é profícuo concentrar-se em alguns estudos de caso; usar episódios históricos, precisamente estudados, como meios para exemplificar ou discutir determinado conteúdo ou perspectiva. Ademais, quando se busca promover reflexões sobre determinadas concepções para diferentes níveis de ensino, almeja-se que a aprendizagem ocorra de forma significativa. Princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel são uma possibilidade para se alcançar isso.

Ausubel argumenta que a aprendizagem significativa ocorre quando há interação (e não uma simples associação) entre aspectos específicos e relevantes da estrutura cognitiva do sujeito e novas informações. Nesse processo, de relação não-literal e não-arbitrária, a nova

informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual ele chama de ‘conceito subsunçor’. Uma ideia, um conceito, uma proposição, uma informação, já existente na estrutura cognitiva do indivíduo, como a concepção limitada da experimentação na ciência, pode ser considerada um subsunçor que serve de ‘ancoradouro’ para que a nova informação tome significado (MOREIRA; OSTERMANN, 1999). Uma das principais características dessa teoria, e fundamental para o processo de consolidação significativa da aprendizagem, é o conhecimento prévio do aluno e a sua pré-disposição em aprender. Há princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa como, por exemplo, o de diferenciação progressiva e o de reconciliação integradora.

Outra condição para ocorrência de aprendizagem significativa é que o material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz (PAULO, 2006). Uma possibilidade para se lidar com isso está no desenvolvimento de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). As UEPS são sequências didáticas, sugeridas por Moreira (2011), fundamentadas teoricamente, sobretudo, na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, que podem estimular intervenções didáticas em sala de aula.

Os princípios que norteiam a constituição dessas unidades são diversos e levam em consideração a relação triádica: aluno, professor e material instrucional. Nessa perspectiva, é importante que no desenvolvimento de uma UEPS, conforme Moreira: i) se leve em conta o conhecimento prévio do estudante; ii) se aceite que pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no aluno e que é ele quem decide se quer ou não aprender de forma significativa, ou seja, o aluno precisa estar predisposto a aprender; iii) se utilize organizadores prévios a fim de servirem de ponte entre o que o sujeito já sabe e o que ele deveria saber para que o novo conhecimento possa ser aprendido de forma significativa; iv) se reconheça que as situações-problema dão sentido aos novos conhecimentos, podem servir de organizadores prévios e devem ser introduzidas em nível crescente de complexidade; v) se considere, na organização do ensino, a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação; vi) se conceba a avaliação da aprendizagem significativa em termos de evidências; vii) se assuma que o professor tem um papel essencial na sistematização de situações-problema, mediador da captação de significados pelo aluno; viii) se concorde que o ensino deve ser dialógico; ix) se parta do pressuposto de que a aprendizagem não deve ser mecânica; x) se admita que a aprendizagem é estimulada pela busca de respostas e questionamentos e não na memorização de respostas conhecidas.

Norteadas pelas considerações colocadas e apoderando-se, então, dos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (TAS) e metodológico (UEPS), o **objetivo geral** da pesquisa é analisar as possíveis funções que o experimento pode assumir na controvérsia entre Galvani e Volta, acerca da eletricidade animal, e desenvolver Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, para diferentes níveis de ensino de ciências, que comportem, por meio da articulação da História e Filosofia da Ciência contemporânea e de princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, considerações epistemológicas acerca da experimentação e demais discussões relativas à Natureza da Ciência.

Pretende-se, com isso, responder aos seguintes problemas de pesquisa: **Como uma análise de experimentos exploratórios e de experimentos, supostamente, cruciais nos estudos de Galvani e Volta, acerca da controversa eletricidade animal, pode contribuir para uma melhor compreensão dos possíveis papéis assumidos pelo experimento na construção de conhecimentos, no ensino de ciências? Que aspectos relativos à Natureza da Ciência esse episódio histórico pode suscitar para o desenvolvimento de UEPS que articulem HFC para diferentes níveis de ensino?.** Para isso, concebeu-se os seguintes **objetivos específicos**:

1. Discorrer acerca da perspectiva experimental baconiana, em geral, e sobre o seu conceito de *experientia literata*, em particular, apresentando contrapontos com o conceito de experimentação exploratória delineado por Steinle.
2. Explorar os diferentes significados atribuídos a um experimento crucial, tanto por ‘cientistas’ quanto por filósofos da ciência.
3. Investigar a noção de experimento crucial presente ou não em materiais de divulgação científica.
4. Explicitar o que se pode entender por uma controvérsia científica e suas possíveis classificações.
5. Evidenciar, sucintamente, a relação entre ciência e valores e sua relevância na escolha teórica à luz de Thomas Kuhn e Ernan McMullin.
6. Examinar criticamente o papel dos experimentos *exploratórios* e *cruciais* nos estudos de Galvani e Volta.
7. Discutir aspectos relativos à Natureza da Ciência na controvérsia Galvani-Volta.
8. Apresentar a relevância de princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa e das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas para o desenvolvimento de materiais potencialmente significativos.

9. Desenvolver uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, para pesquisadores em formação, que comporte considerações epistemológicas acerca da experimentação e aspectos relativos à Natureza da Ciência na controvérsia entre Galvani e Volta.
10. Produzir Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, para distintos níveis de ensino (formação inicial e continuada, ensino médio), que discutam aspectos relativos à Natureza da Ciência associados, explícita ou implicitamente, a considerações epistemológicas sobre a experimentação.
11. Elaborar um site, de livre acesso, para a divulgação das UEPS com seus respectivos materiais.

A tese está estruturada na forma de artigos. Embora este formato não seja muito comum, algumas dissertações e teses de programas nacionais, inclusive do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT), têm utilizado este tipo de redação (JORGE, 2018; DAMÁSIO, 2017; MARTINS, 2016; CORDEIRO, 2016; 2011; RAICIK, 2015; OLIVEIRA, 2010; TEIXEIRA, 2010; TAVARES, 2010; FREITAS, 2007; GONÇALVES, 2002). Um dos maiores desafios dessa escrita alternativa talvez seja o de integrar proficuamente, no corpo de um único texto (a tese), artigos que possuem relativa independência entre si, como aponta Teixeira (2010). A ênfase em certos aspectos que, afinal, conferem uma unidade ao trabalho, torna inevitável certas sobreposições, mas cabe ao pesquisador lidar com este problema. A repetição, devidamente ponderada, não é necessariamente um mal ou um sinônimo de defeito. De fato, na medida em que se reitera determinadas informações, em momentos oportunos, e em contextos distintos, nos artigos que compõem a pesquisa, confere-se maior clareza e identidade a ela. No âmbito de princípios ausubelianos, isso pode, inclusive, promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Ademais, conforme tem se justificado, esse formato propicia um processo mais completo para um pesquisador em formação. A produção de artigos contempla interação entre autor e comunidade científica (CORDEIRO, 2011). A crítica dos pares suscita reflexão e antecipa contribuições ao trabalho, que ganha em qualidade.

O primeiro artigo da tese, intitulado “*Experimentos exploratórios e experientia literata: (re) pensando a experimentação*”, retoma sucintamente a perspectiva experimental baconiana – parte dela fortemente atrelada à ideia comum empírico-indutivista. Apresenta contrapontos entre algumas considerações apresentadas por Bacon, principalmente acerca da *experientia literata*, e certas concepções do ‘novo experimentalismo’, sobretudo à luz do

conceito de experimentação exploratória delineado por Steinle (1997). Por fim, o artigo aborda algumas implicações dessas reflexões para o ensino de ciências.

A tese tem como segundo capítulo o artigo “Da *instantia crucis* ao *experimento crucial*: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência”, que explora os diferentes significados atribuídos ao experimento crucial tanto por ‘cientistas’ quanto por filósofos da ciência. Nesse sentido, resgata a definição dada por Bacon ao que ele denominou de *instantia crucis* e a relaciona com as compreensões apresentadas por Lakatos, Popper e Duhem. Analisa, também, de que forma Newton utilizou esse termo em um de seus mais famosos experimentos. Associa, ainda, essas reflexões com aquelas apresentadas no ensino de ciências e busca desmistificar a visão de que evidências empíricas independentes de teorias são possíveis.

O terceiro artigo denominado “Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica” analisa, particularmente, a ilustração do experimento crucial de Newton, sobre a teoria da luz e cores, em livros de divulgação científica. Resgata as narrativas experimentais apresentadas por Robert Boyle para evidenciar a importância das ilustrações no período histórico em análise. Por fim, frisa as contribuições e limitações (cuidados) dos materiais analisados para serem discutidos no ensino de ciências.

“A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências” constitui o quarto capítulo da tese. O artigo contextualiza definições de controvérsias científicas, explicita algumas de suas origens e apresenta as classificações feitas por Aristides Baltas e Willian Goodwin. Além disso, à luz dos referenciais supracitados e de concepções kuhnianas, propõe e exemplifica três tipos de controvérsias científicas: analíticas, resistivas e argumentativas. Longe de esgotar ou tentar restringir o escopo de um tema complexo, a classificação elaborada visa ressaltar peculiaridades de certas controvérsias na perspectiva de sua introdução e discussão na educação científica. Desta forma, traz implicações dessas reflexões para o ensino, sobretudo, buscando discutir aspectos relativos à Natureza da Ciência.

O quinto capítulo, nomeado “A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas”, discute valores kuhnianos, como os de precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência, e aborda uma classificação de McMullin envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias na ciência. Por fim, mas não menos importante, apresenta implicações para o ensino de ciências visando, sobretudo, minorar a visão limitada de que exclusivamente por meio de experimentações as querelas são resolvidas.

“A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal” compõe o sexto artigo da tese. O capítulo busca apresentar os estudos de Luigi Galvani, do início de sua formação à formulação da teoria da eletricidade animal. No percurso dessa contextualização, faz-se relações explícitas tanto com a ideia de *experientia literata* baconiana quanto, e principalmente, com a concepção de *experimentação exploratória* delineada por Steinle. Com o intuito de minimizar o estereótipo de que a experimentação tem um papel exclusivo no teste de teorias, o artigo traz implicações das reflexões epistemológicas suscitadas no episódio histórico analisado para uma educação científica mais consciente dos distintos papéis que a experimentação pode exercer no desenvolvimento do conhecimento científico.

No sétimo artigo, denominado “Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal”, desenvolve-se um resgate histórico-filosófico da polêmica controvérsia que teve como protagonistas esses dois notáveis estudiosos. Examina-se criticamente o papel dos experimentos considerados, em princípio, como cruciais nesse episódio, ressaltando a relatividade do conceito de crucial. Evidencia-se que as experimentações, consideradas exploratórias, tiveram um papel fundamental para as argumentações apresentadas tanto por Galvani como por Volta. Implicações para o ensino de ciências, sobretudo no que se refere à ideia de crucialidade de experimentos, são apontadas.

O oitavo capítulo da tese, “O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo”, discute como se deu o término da controvérsia entre esses dois estudiosos, a partir da classificação de McMullin. Além disso, discorre sobre alguns valores kuhnianos envolvidos na aceitação de um novo conhecimento, como o que surge com a divulgação da pilha por Volta. Implicações para o ensino de ciências são apresentadas, principalmente, para desmistificar a ideia de que o componente empírico é sempre o árbitro infalível que permite escolhas teóricas inequívocas.

O artigo “Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS” constitui o nono capítulo da tese. Nele, discorre-se sobre princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e acerca das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. Um conjunto de UEPS que envolvem História e Filosofia da Ciência e considerações epistemológicas da experimentação na ciência e outros aspectos relativos à Natureza da Ciência é apresentado. Trata-se, portanto, de um artigo teórico, que tem como objetivo evidenciar que o tema da tese pode ser discutido e trabalhado no ensino de ciências com distintas perspectivas e níveis e salientar a importância da fundamentação

epistemológica, educacional e metodológica das unidades, como um processo importante e indispensável que precede a pesquisa empírica.

As considerações finais, “No desfecho de uma tese histórico-filosófica voltada ao ensino de ciências: algumas ponderações e desdobramentos”, conferem um sentido de unidade ao trabalho. Nesse sentido, discutem-se tanto a relação existente entre cada artigo (capítulo) e os objetivos específicos da tese, como a proficuidade da elaboração da pesquisa na forma de artigos, à luz de princípios ausubelianos, para a promoção da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa ao leitor da tese em sua íntegra. Na perspectiva de um tema bastante abrangente e complexo, que não se esgota com a tese, aponta, ainda, para novos e profícuos estudos.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, J. P. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. Florianópolis: UFSC, 2000. 303 P. Tese – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, v. 1, 2011.

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, v. 2, 2018.

CAMPOS, L. S.; ARAÚJO, M. S. T.; AMARAL, L. H. Tendências das Pesquisas Envolvendo Experimentação em Ensino de Física identificadas em Teses e Dissertações entre 2002 – 2011. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. São Paulo: Águas de Lindóia. **Atas...**,2013.

CLOUGH, M. O.; OSLON, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, 143–145, 2008.

COHEN, I. B. Foreword. In: PERA, M. **The ambiguous frog**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, p. xi-xiii, 1992.

CORDEIRO, M. **Dos Curie a Rutherford: Aspectos Históricos e Epistemológicos da Radioatividade na Formação Científica**. Florianópolis: UFSC, 2011. 234 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CORDEIRO, M. **Ciência e Valores na história da fissão nuclear: potencialidades para a educação científica**. Florianópolis: UFSC, 2016. 228 p. Tese – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. **Labore em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, 14-34, 2016.

DAMASIO, F. **História da Ciência na Educação Científica: uma abordagem epistemológica de Paul Feyerabend procurando promover uma aprendizagem significativa crítica**. Florianópolis: UFSC, 2017. 404 p. Tese - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

DUHEM, P. **A teoria física: seu objeto e sua estrutura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2014.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia das ciências na educação científica de nível superior. In: Silva, C. C. (Org.). **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: Da Teoria à Sala de Aula**. São Paulo (Brasil): Editora Livraria da Física. p. 3-21, 2006.

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, p. 477-488, 2002.

FORATO, T. C.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência da Sala de Aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

FRANKLIN, A. Física y Experimentacion. **Theoria**, v. 17-2, p. 221-242, 2002.

FREITAS, F. H. A. **Os estados relativos de Hugh Everett III: uma análise histórica e conceitual**. Bahia: UFBA, 2007. Dissertação - Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

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

GONÇALVES, M. L. C. **Helminths, protozoários e algumas idéias: novas perspectivas na paleoparasitologia**. Rio de Janeiro: FOC, 2002. 125 f. Tese - Doutorado em Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

HACKING, I. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HARRES, J. B. S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a Natureza da Ciência e suas implicações para o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 197-211, 1999.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory** (20) 2, 1988.

HODSON, D. Philosophy of Science and Science Education. **Journal of Philosophy of Education**, v. 20, n. 2, p. 215-225, 1986.

JORGE, L. **Na formação de professores e cientistas, uma HQ sobre aspectos da NdC e imagens: encantar-se com os entre-(em)laces**. Florianópolis: UFSC, 2018. 335 p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

KIPNIS, N. Chance in Science: the discovery of Electromagnetism by H.C. Oersted. **Science & Education**, v. 14, p. 1-28, 2005.

KIPNIS, N. Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. **Science & Education**, v. 10, p. 33-49, 2001.

KRAGH, H. A Sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. **Science & Education**. v. 1, p. 349-363, 1992.

KUHN, T. S. **O caminho desde A Estrutura**. São Paulo: Unesp, 2006.

LAKATOS, I. The role of crucial experiments in Science. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 4, n. 4, p. 344-355, 1974.

MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS, A. Scientific Controversies: An Introduction. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS (Ed.). **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 3-17, 2000.

MARTINS, L. **Abordagens da saúde em livros didáticos de Biologia: análise crítica e proposta de mudança**. Bahia: Universidade Federal da Bahia, 2016. Tese – Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, 2016.

MARTINS, R. A. Introdução: história da ciência e seu uso 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, 2006.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

McCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The nature of science in science education: in introduction. **Science & Education**, v. 7, p. 511-532, 1998.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO Jr, F. N. **A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física**, 2001. (publicação interna).

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

MOREIRA, M. A. Unidades De Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Teorias Construtivas**. Porto Alegre: UFRGS, 1999.

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

OLIVEIRA, A. M. P. **Modelagem matemática e as tensões nos discursos dos professores**. Bahia: UFBA, 2010. Tese - Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PAULO, I. C. J. **Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhague e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. Burgos: Universidade de Burgos, 2006. Tese – Doutorado em Ensino de Ciências, 2006.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência**. Agosto, 2019, 57p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay**. Florianópolis: UFSC, 2015, 233 p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction**. Chicago: University Chicago Press, 1938.
STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, 408- 432, 2002.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. In SCHICKORE, J.; STEINLE, F. (Ed.). **Revisiting Discovery and Justification**. Netherlands: Springer, p. 183-195, 2006.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

SUPPES, P. Que é uma teoria científica. In: MORGENBESSER, S. (Org). **Filosofia da ciência**. São Paulo: Editora Cultrix Ltda, 1979.

TAVARES, A. Isoxazolinás. **Uma classe de materiais avançados revisitada**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 287 f. Tese - Doutorado em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem conceitual no ensino de física**. Bahia: UFBA, 2010. Tese - Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, p. 9-40, 2012.

TRUMPLER, M. Verification and variation: Patterns of experimentation in investigations of Galvanism in Germany, 1790-1800. **Philosophy of Science**, v. 64, p. S75-S84, 1997.

Capítulo 1

*Experimentos exploratórios e experientia literata:
(re) pensando a experimentação*

1 EXPERIMENTOS EXPLORATÓRIOS E *EXPERIENTIA LITERATA*: (RE)PENSANDO A EXPERIMENTAÇÃO³

Exploratory experiments and experientia literata: (re) thinking experimentation

Resumo

Francis Bacon é, por vezes, apontado como o primeiro filósofo experimental e, normalmente, sua filosofia é atrelada à ideia comum empírico-indutivista. A fim de mostrar uma nova imagem baconiana, este artigo analisa partes de sua principal obra, o *Novum Organum*, e apresenta seu conceito de *experientia literata*, pouco conhecido. Além disso, explicita contrapontos entre algumas considerações apresentadas por Bacon e certas concepções do “novo experimentalismo”, sobretudo à luz do conceito de experimentação exploratória delineado por Steinle. Por fim, aborda-se algumas implicações dessas reflexões para o ensino de ciências.

Palavras-chave: Bacon; *Experientia literata*; Experimentação exploratória; Ensino de ciências.

Abstract

Francis Bacon is sometimes referred to as the first experimental philosopher, and his philosophy is usually tied to the common empirical-inductive idea. In order to show a new Baconian image, this article analyzes parts of his main work, the *Novum Organum*, and presents his concept of *experientia literata*, little known. In addition, it explicit counterpoints between some considerations presented by Bacon, particularly about the *literata experientia*, and certain conceptions of the "new experimentalism", especially in light of the concept of exploratory experimentation outlined by Steinle. Finally, it approaches some implications of these reflections for science teaching.

Keywords: Bacon; *Experientia literata*; Exploratory experimentation; Science teaching.

1.1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da ciência, o ser humano procura compreender o mundo e seus fenômenos. “A busca do saber pelo saber vem com os primeiros filósofos gregos, impregnada de uma curiosidade ímpar sobre a natureza da matéria e a estrutura do cosmos” (PEDUZZI, 2015). Nesse contexto, e por muito tempo, a experimentação não fez parte da construção de conhecimentos, pelo menos não com as funções e a compreensão que passará a ser atribuída a ela na ciência moderna.

Os aristotélicos, por exemplo – e seus ensinamentos que predominaram até a Idade Média e o Renascimento e, inclusive, fundamentaram as primeiras universidades a partir do século XII – buscavam o conhecimento pela dedução de princípios primeiros. A edificação e o desenvolvimento do conhecimento especulativo, contemplativo, de organização empírica e de hierarquização abstrata das coisas, não necessitava, de fato, de experimentos. Todavia, apesar

³ Com pequenas alterações este artigo está publicado em *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 23, n. 1, p. 111-119, 2018.

de os filósofos naturais, desde os tempos mais remotos, não o terem introduzido como método de pesquisa, pode-se dizer que eles faziam uma espécie de “experimentação”, ao se valerem de meios não metódicos, diretamente ligados à observação de fenômenos (BLAGA, 2014). Certamente, o ser humano sempre teve a oportunidade de fazer observações a respeito da natureza. Contudo, no campo de um empirismo especulativo, essa observação pode ser associada apenas a uma “experiência vivencial”; e isso não constitui indício de algum método mais sistemático para produzir conhecimentos.

O termo experimento, usado no sentido de designar um dos componentes de um método de pesquisa que implica em uma intervenção ativa na natureza, parece ter sido utilizado pela primeira vez por Roger Bacon (1214-1292), que também empregou a expressão *scientia experimentalis* – ciência experimental. Não obstante, foi com Francis Bacon (1561-1626) e a sua defesa ao método experimental indutivo que a experimentação passou a estar fortemente presente, e ser imprescindível, na ciência. No entanto, por muito tempo, a experimentação não foi objeto de reflexões epistemológicas significativas. As discussões, incontestavelmente, pautaram-se na indução, e não na função da experimentação em si. Nessa perspectiva, muitos filósofos analisaram e explicitaram os problemas do método indutivo, enquanto outros buscaram defendê-lo.

A concepção experimental na ciência passou a ser objeto de minuciosas considerações – em seus aspectos históricos, sociais, culturais, epistemológicos – sobretudo a partir da década de 1980, aproximadamente (FRANKLIN, 1986; HACKING, 2012; STEINLE, 2002). O “novo experimentalismo” surgiu estimulado, notadamente, pelos estudos de Ian Hacking que, em termos, buscou resgatar concepções baconianas, embora tenha sido, indiscutivelmente, incitado pelas críticas dirigidas à concepção filosófica do positivismo lógico feitas por Popper, Kuhn, Hanson, Toulmin, Lakatos, Feyerabend. O livro “Representar e Intervir” (HACKING, 2012), publicado originalmente em 1983, é um exemplo das renovadas discussões sobre os excessos da dimensão teórica da ciência em detrimento das experimentações. Hacking é considerado um dos filósofos da ciência mais expressivos na contemporaneidade e tem uma importância internacional no campo dos *Science Studies* (CALIMAN; ALMEIDA, 2009). Como sintetiza Echeverría (1998), a sua filosofia responde ao ideal baconiano de uma ciência que, sobretudo, é capaz de intervir na natureza, produzindo novos fenômenos e transformando-a. De acordo com o próprio filósofo,

a verdadeira mensagem de ‘Representing and Intervening’ é que grande parte da ciência é experimentação, transformação do mundo e construção de instrumentos para modificar o mundo: intervir, e não apenas teorizar, ou representar (HACKING, 2009, p. 268).

Todavia, apesar de já existirem inúmeros estudos e concepções filosóficas contemporâneas acerca da experimentação na construção do conhecimento (FRANKLIN, 2002; GOODING, 2000; HACKING, 2012; STEINLE, 1997, 2002, 2006), o ensino de ciências ainda perpetua visões equivocadas e limitadas da mesma. Seja por meio de materiais didáticos (ou paradidáticos) e, por vezes, de professores, o ensino negligencia os distintos papéis do experimento no desenvolvimento científico, a dinâmica entre hipóteses e experimentação, e acaba por demarcar que “as teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa da obtenção dos dados da experiência adquiridos por observação e experimento” (CHALMERS, 1993, p. 17). Nesse panorama, a experimentação subsidia por si a pesquisa científica, que se focaliza na obtenção de dados; assume-se, pura e simplesmente, que a experiência independe das hipóteses e problematizações. A imagem empírico-indutivista continua sendo disseminada no ambiente educacional (EL-HANI, 2006; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; GIL PÉREZ, *et al.*, 2001; NETO; SILVA, 2012;) e atrelada a ela está a ideia da existência de “o” método científico (FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; MOREIRA; OSTERMANN, 1993). É imprescindível salientar, no entanto, que há esforços para que esse problema não continue presente em sala de aula. Os critérios para a avaliação das obras inscritas no PNLD 2015 (BRASIL, 2014), a nível médio, são exemplo disto. Um deles visava analisar se o livro evitava “apresentar atividades que reduzam o tratamento de aspectos da natureza da ciência exclusivamente a uma concepção empirista do desenvolvimento científico”, e outro, se a visão de ciência presente na coleção, contribuía “para a superação de visões de ciência empiristas e/ou indutivistas”. O não cumprimento de qualquer um dos indicadores implicou a exclusão da coleção. Embora o livro não seja a única forma de conhecimento utilizada pelo professor e pelo aluno, a preocupação existente com a visão de ciência em suas entrelinhas evidencia um avanço para a desmistificação de noções puramente empiricistas nesse meio.

Por certo, a discussão da experimentação na ciência, vinculada à reflexão de novas posturas filosóficas, subsidia uma melhor compreensão dos inúmeros papéis que o experimento exerce no desenvolvimento científico. Além de Hacking, a conceitualização de experimentos exploratórios de Friedrich Steinle contribui nesse sentido, uma vez que apresenta uma classe de experimentação presente em distintos momentos na história da ciência que é, extremamente, relevante para o desenvolvimento científico. Valorizando e reconhecendo características fundamentais da pluralidade funcional do experimento na ciência, e seu jogo constante com hipóteses, os experimentos exploratórios apresentam sobreposições com o conceito de *experientia literata* de Bacon.

Nessa perspectiva, este artigo retoma sucintamente a perspectiva experimental baconiana, pois ela é um marco no que se refere ao papel do experimento na ciência – e parte dela está fortemente atrelada à ideia comum empírico-indutivista. Posteriormente, apresenta contrapontos entre algumas considerações apresentadas por Bacon, principalmente acerca da *experientia literata*, e certas concepções do “novo experimentalismo”, sobretudo à luz do conceito de “experimentação exploratória” delineado por Steinle (1997). Conclui-se, abordando-se algumas implicações dessas reflexões para o ensino de ciências. Este último ponto resulta essencial, pois instiga a discussão de concepções relativas à natureza da ciência, principalmente aquelas vinculadas ao papel da experimentação, em um ambiente propício para o desenvolvimento crítico do aluno. As considerações epistemológicas da experimentação apresentadas por Hacking e Steinle, por certo, permitem construir reflexões ao ensino capazes de problematizar o olhar indutivista ainda presente na educação científica.

Cabe ressaltar que, dada a extensão da obra baconiana, este artigo limita-se à análise de parte de suas contribuições com o *Novum Organum*, sua principal obra e, especificamente, o seu conceito de *experientia literata*.

1.2 PRELÚDIO AO MÉTODO EXPERIMENTAL INDUTIVO: BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE O *NOVUM ORGANUM*

O século XVII pode ser considerado um marco na ciência, pois nesse período a experimentação passou a ocupar uma posição de destaque na estruturação do conhecimento. Um dos responsáveis por essa mudança foi Francis Bacon, apontado como o primeiro filósofo experimental e, por muitos, como o inventor do método experimental indutivo; consequentemente, o fundador da ciência moderna (JAPIASSU, 2013)⁴.

⁴ A atribuição à Bacon de “precursor” do método experimental – originalmente sinônimo de o método científico (HACKING, 2012) – é controversa. Japiassu (2013) adverte que foi somente muito tempo depois de ter sido inventado e praticado por inúmeros cientistas que o método experimental foi, finalmente, codificado por Claude-Bernard, em uma obra de 1865, em suas três etapas fundamentais: a) a observação de um fato-problema; b) a formulação de uma hipótese; c) sua verificação experimental. Videira (2006), por sua vez, admite que Bacon, juntamente com Galileu, Harvey e outros estudiosos, criaram o método científico. Todavia, Kuhn, com base nos estudos de Randall e Combric, ressalta que havia uma tradição metodológica que, do século XIII ao início do XVII, estabeleceu regras para extrair conclusões adequadas com base na observação e na experimentação. “As *Regulae*, de Descartes, e o *Novum organum*, devem muito a essa tradição. Uma filosofia empírica da ciência não era novidade na época da revolução científica” (KUHN, 2011, p. 65-66). Com efeito, Bacon enunciou as regras da indução e por isso foi considerado, ao menos para os fundadores da Royal Society, o “pai da filosofia experimental”. Cabe ressaltar, no entanto, que o tema é complexo. Laudan (2000), por exemplo, discorre longamente sobre a história do método científico em seu artigo “Teorias do Método Científico de Platão a Mach”.

Em sua principal e mais conhecida obra, o *Novum Organum*, publicada em 1620, Bacon evidencia uma das suas maiores contribuições à ciência, ao admitir que ela não pode prescindir da união da experiência com a razão, como procura deixar claro em sua famosa analogia da formiga, da aranha e da abelha:

Os que se dedicaram às ciências foram ou empíricos ou dogmáticos. Os empíricos, à maneira das formigas, acumulam e usam as provisões; os racionalistas, à maneira das aranhas, de si mesmos extraem o que lhes serve para a teia. A abelha representa a posição intermediária: recolhe a matéria-prima das flores do jardim e do campo e com seus próprios recursos a transforma e digere. Não é diferente o labor da verdadeira filosofia, que se não serve unicamente das forças da mente, nem tampouco se limita ao material fornecido pela história natural ou pelas artes mecânicas, conservado inato na memória. Mas ele deve ser modificado e elaborado pelo intelecto. Por isso muito se deve esperar da aliança estreita e sólida (ainda não levada a cabo) entre essas duas faculdades, a experimental e a racional (BACON, 1979, I, XCV, p. 63).

Nesse contexto, Bacon desqualificou os racionalistas e universitários tradicionais, sustentando que, em uma nova postura filosófica, os sábios deveriam ir além do empirismo estéril dos ferreiros, mágicos e alquimistas (JAPIASSU, 2013).

No âmbito epistemológico, as relações teoria/prática, ciência/potência, contemplação/atividade, estão desde o início instituídas num pensamento que tem por objetivo unir os conhecimentos racional e empírico, criando uma ciência ativa (ZATERKA, 2004, p. 110).

Bacon valorizou a experimentação salvaguardando-a dos ídolos que distorcem a imagem do mundo. Ele explicitou quatro gêneros de ídolos que bloqueiam a mente humana: a) Ídolos da Tribo (*Idola Tribus*); b) Ídolos da Caverna (*Idola Specus*); c) Ídolos do Foro (*Idola Fori*); d) Ídolos do Teatro (*Idola Theatri*). Apenas livres dessas fontes de erro, com a mente purificada das opiniões, o ser humano seria capaz de alcançar o genuíno conhecimento; para isso, fazia-se necessário a formação de noções e axiomas pela verdadeira indução. Essa indução seria aquela que pratica a seleção orientada e contínua dos casos, como única via que permite a formulação de enunciados gerais, e não aquela sustentada pelo aristotelismo de simples enumeração (CARRILHO, 1994). Esta última era menosprezada por Bacon, que a considerava fútil e pueril.

Conferindo o ulterior progresso das ciências à experimentação, Bacon explicitou, no *Novum Organum*, a distinção entre os experimentos lucíferos e os frutíferos. Aqueles do primeiro tipo, embora não encerrem em si qualquer utilidade, são necessários para a descoberta das causas e dos princípios. Representam o ponto de partida; permitem iniciar um processo de indução para elevar-se gradualmente na ordem das causas. Os experimentos frutíferos, por outro lado, conduzem a resultados palpáveis ou práticos.

(...) em qualquer espécie de experiência, deve-se primeiro descobrir as causas e os axiomas verdadeiros, buscando os axiomas lucíferos e não os axiomas frutíferos. Pois os experimentos, quando corretamente descobertos e constituídos, informam não a uma determinada e estrita [restrita] prática, mas a uma série contínua, e desencadeiam na sua esteira bandos e turbas de obras (BACON, 1979, I, LXX, p. 39-40).

Como um filósofo experimental, Bacon teve o “mérito”, então, de implantar a necessidade de uma sequência de procedimentos seguros que indicaria e permitiria “descobrir”⁵ o conhecimento real dos efeitos naturais. Ele afirmou que se deveria fazer pesquisa à luz da experiência racional, metodicamente organizada. Criticou as “experiências cotidianas” ou aquelas realizadas de forma casual, com precipitação; por espírito de lucro e vaidade (JAPIASSU, 2013). Manifestou a sua insatisfação com as experiências vagas, argumentando que o modo comumente utilizado para realizar experimentos é “cego e estúpido”, pois a princípio não se tem uma sequência a ser seguida e se vaga sem rumo. Os “experimentadores”, dessa forma, guiam-se simplesmente pelas circunstâncias que fornecem muitos fatos que, por sua vez, não apresentam proveito. Assim, pode-se pressupor que praticar um “experimento cotidiano”, entendendo-o como fonte de conhecimento de maneira incidental, oferecido nas circunstâncias corriqueiras da vida, é completamente distinto de uma utilização lúcida e consequente do experimento como um elemento essencial de um método (BLAGA, 2014). “O método é, para Bacon, um meio de ordenação e de classificação da realidade natural. Não é por acaso que ele é apresentado como um ‘fio’ capaz de guiar o homem dentro da ‘caótica selva’ e do ‘complicado labirinto’ da natureza” (ROSSI, 1992, p. 203).

A experiência pura e simples, afirmava Bacon, que ocorre ao acaso, é um mero tateio que, como tocha apagada na escuridão, nada mais faz do que obscurecer àqueles que não seguem o verdadeiro caminho experimental.

A verdadeira ordem da experiência, ao contrário, começa por primeiro, acender o archote e, depois, com o archote mostrar o caminho, começando por uma experiência ordenada e medida – nunca vaga e errática –, dela deduzindo os axiomas e, dos axiomas, enfim, estabelecendo novos experimentos (BACON, 1979, I, LXXXII, p. 50).

Reside aqui a supremacia do método experimental: “com ele podemos alterar o curso comum da natureza e atingir sua verdadeira estrutura” (ZATERKA, 2004, p. 137). Todavia, como salientou Bacon, a história natural e experimental “é tão variada [sic] e ampla que confunde e dispersa o intelecto” (BACON, 1979, II, X, p. 102). Dessa forma, dever-se-ia

⁵ Raicik e Peduzzi (2016a) apresentam uma análise da complexidade de uma descoberta científica à luz das considerações de Norwood Hanson, Thomas Kuhn e Naum Kipnis.

preparar três tábuas (ou tabelas) de investigação, “dispostas de tal modo que o intelecto com elas possa operar” (BACON, 1979, II, X, p. 102). Na tábua de essência e de presença, deveriam ser anotados todos os casos possíveis em que um fenômeno, objeto de estudo, aparece. “Se os exemplares forem dessemelhantes, será mais segura a identificação da natureza respectiva” (BACON, 1979, II, X, rodapé 47, p. 103). Antagonicamente, a tábua de desvio ou de ausência de fenômenos próximos destinava-se a verificar os casos semelhantes em que o fenômeno não ocorre. Por fim, tornava-se necessário anotar a intensidade na ocorrência do fenômeno, “descobrimo-se” as correlações entre as modificações; a essa tábua dá-se o nome de tábua de graus ou de comparação. Os experimentos desenvolvidos, independentemente de serem classificados como lucíferos ou frutíferos, deveriam ser registrados nessas tábuas.

O conjunto dessas tábuas, e dos procedimentos complementares, compõe o que Bacon chamou de *Primeira Vindima*. Depois disso seria “necessário passar aos outros auxílios do intelecto na interpretação da natureza, bem como à indução verdadeira e perfeita” (BACON, 1979, II, XXI, p. 133). Esses recursos seriam: as instâncias prerrogativas, os adminículos (auxílios) da indução, a retificação da indução, a variação da investigação segundo a natureza do assunto, as prerrogativas da natureza, os limites da investigação, a dedução e a prática, os preparativos para a investigação e, por último, a escala ascendente e descendente dos axiomas. As instâncias prerrogativas, “uma curiosa classificação” baconiana (HACKING, 2012), referem-se a tipos de experiências produtivas ou instrumentos específicos e úteis para a geração da história natural e experimental (GEORGESCU, 2011). Como parte final do livro II do *Novum Organum*, Bacon apresentou vinte e sete dessas instâncias, entre elas, as *instantias crucis*; que será traduzida, décadas depois, como “experimentos cruciais”.

Resumidamente, o método descrito no *Novum Organum* admitia ser preciso recolher os axiomas dos sentidos e das coisas particulares; a partir disso, ascender contínua e gradualmente até alcançar, por último, os princípios de máxima generalidade. Este seria “o verdadeiro caminho” para a investigação e a descoberta do conhecimento (BACON, 1979).

1.3 EXPERIENTIA LITERATA: A LABAREDA QUE BACON ACENDEU

Embora o *Novum Organum* seja o livro mais importante de Bacon, nele o filósofo não discorreu sobre uma importante classe de experiência, que denominou *experientia literata*

(“experiência instruída”)⁶. Em *Of the Dignity and Advancement of Learning*, publicado em 1623⁷, ele destacou que a invenção das ciências ou das artes procede de duas formas: tanto da indicação de um experimento para outro, quanto dos experimentos para axiomas; axiomas esses que sugerem novos experimentos. A primeira conduta ele chamou de *experientia literata*, a outra de Interpretação da Natureza ou *Novum Organum*.

Conforme a analogia de Bacon:

Um homem pode prosseguir em seu caminho de três maneiras: ele pode tatear seu caminho, por si mesmo, no escuro; ele pode ser conduzido pela mão de outro, sem que ele próprio veja alguma coisa; ou por último, ele pode obter uma luz, e assim dirigir os seus passos; de igual modo, quando um homem tenta todos os tipos de experimentos sem ordem nem método, este estará tateando no escuro; mas quando ele usa alguma direção e ordem na experimentação, é como se ele estivesse guiado pela mão; e isto é o que eu quero dizer por experiência instruída. Para a luz própria, que é a terceira via, deve-se procurar a partir de a Interpretação da Natureza, ou o *Novum Organum* (BACON, 1882, p. 72).

A experiência instruída teria duas funções principais na investigação da natureza: i) gerar experimentos lucíferos (luminosos); ii) preparar a mente para o trabalho de interpretação. “Dado o espetáculo avassalador da fecundidade da natureza, a mente não pode lidar com a vasta gama de elementos que compõem a história natural, a menos que, como diz Bacon, ‘eles sejam estabelecidos e apresentados em ordem adequada’” (WEEKS, 2008, p. 163). Este tipo de experiência serviria, assim, para guiar o investigador a observações da natureza por meio de algumas técnicas, a saber: variação, produção, translação, inversão, compulsão, aplicação, conjunção e acasos, de experimentos (BACON, 1882). Cabe ressaltar que, na literatura, ainda não há consenso sobre como denominar essas “técnicas” de Bacon; pode-se pensá-las como regras, estratégias práticas para fazer uma boa pesquisa, elementos de heurística, modelos de experimentação exploratória (JALOBÉANU, 2016).

A variação refere-se ao procedimento no qual parâmetros específicos da configuração experimental são modificados. A primeira variação ocorreria na matéria, como a tentativa de produzir papel a partir de algodão, ou de pelo de animais. A segunda estaria relacionada à eficiência da mudança. Os raios da Lua, em semelhança aos do Sol, não poderiam fornecer

⁶ No *Novum Organum* Bacon faz breves menções acerca da *experientia literata* sem, no entanto, discuti-la. No aforismo CIII, do livro I, ele diz: “não negamos que depois que os experimentos de todas as artes forem recolhidos e organizados e, depois, levados à consideração e ao juízo de um só homem, seja possível, pela simples transferência dos conhecimentos de uma arte para outra, com o auxílio da experiência a que chamamos de *literata*, chegar a muitas novas descobertas úteis à vida humana e às suas condições. Todavia, tais resultados, a bem dizer, são de menor importância. Na verdade, muito maiores serão os provenientes da nova luz dos axiomas, deduzidos dos fatos particulares, com ordem e por via adequada, e que servem, por sua vez, para indicar e designar novos fatos particulares” (BACON, 1979, I, CIII, p. 67-68).

⁷ A obra *Of The Dignity and Advancement of Learning* é uma versão latina e expandida de *Advancement of Learning*, publicado em 1605.

algum grau de calor, através de lentes convergentes? A terceira variação faria referência à quantidade. Esse elemento carrega, em si, muitos erros, ou conclusões precipitadas que se mostram desacertadas. Como apontou Bacon, muitos acreditavam que, quando uma determinada quantidade de matéria fosse aumentada o seu poder e/ou virtude seriam proporcionalmente aumentados. No entanto, isso nem sempre é válido, e ele alertou para os cuidados com as precipitações.

Os homens devem, portanto, considerar a história em que a mulher, na fábula de Esopo, esperava, com uma dose dupla de cevada, que sua galinha colocasse dois ovos por dia; tendo em vista que a galinha engordou, não colocou nenhum (BACON, 1882, p. 74).

A produção de experimentos envolve a repetição e a extensão. O “espírito do vinho” é produzido a partir da destilação simples do vinho, que o torna mais pungente e mais forte; se o processo de destilação for repetido, ele se tornará mais robusto? Como salientou Bacon, a ideia de repetição também não está isenta de falácias. O efeito da destilação do destilado não é tão perceptível quanto do vinho bruto. Quanto à extensão do experimento, por exemplo, poder-se-ia averiguar se um ímã mergulhado em uma dissolução de ferro o atrairia, assim como faz com um pedaço sólido do mesmo.

A técnica de translação de experimentos abrange três tipos de transferência: da natureza ou do acaso para uma arte, de uma arte para outra, ou de parte de uma arte para outra parte da mesma. Bacon afirma que quase toda a arte mecânica surgiu a partir de pequenos acontecimentos apresentados pela natureza ou pelo acaso. “A imitação artificial do arco-íris, com gotas densamente borrifadas, é transladada por uma fácil passagem do arco-íris formado naturalmente por uma nuvem gotejando” (BACON, 1882, p. 76-77). Assim como os óculos, que foram desenvolvidos para ajudar aqueles que têm algum problema de visão, um novo instrumento por semelhança poderia ser produzido para aqueles que possuem problemas auditivos. Isto nada mais é que a transferência de uma arte a outra. Se, tomando outro exemplo, “a pintura reaviva a memória de uma coisa pela imagem do mesmo; não seria isto a transferência de uma arte para os que eles chamam de a arte da memória?” (BACON, 1882, p. 78). A translação de parte de uma arte para outra parte da mesma, foi exemplificada, por Bacon, com a medicina, que poderia avançar se as experiências a respeito da cura de doenças fossem transferidas para as partes que se preocupam com a saúde e o prolongamento da vida. Em termos gerais, “este tipo de experimentação implica na imitação artificial de fenômenos naturais (...). Isto compreende tentativas de transmutar firmemente uma informação de um domínio para outro” (GEORGESCU, 2011, p. 110).

O processo de inversão faz referência à análise de um experimento por meio de sua contraversão. “Os raios do sol são refletidos a partir do branco, mas recolhidos no preto; são as sombras, da mesma forma, perdidas no preto e recolhidas no branco?” (BACON, 1882, p. 79). Ou ainda, o calor tem uma tendência de se propagar para cima, tem o frio uma propensão a se alastrar para baixo?

A compulsão de experimentos é a técnica menos comentada por Bacon. Ela ocorre quando um experimento é incitado e estendido até a aniquilação ou privação do seu poder. “Ao estabelecer os limites, os fatores relevantes identificados para a ocorrência de efeitos são testados” (GEORGESCU, 2011, p. 110). Trata-se, por exemplo, de analisar a capacidade de um ímã de atrair o ferro, mudando a distância entre eles e as condições experimentais.

A translação engenhosa de um experimento a outro corresponde à técnica de aplicação. Se os corpos têm suas próprias dimensões e densidades, um experimento pode ser desenvolvido aplicando esse princípio para verificar, por exemplo, o quanto de prata foi misturado ao ouro – como a eureka de Arquimedes.

Uma união ou uma cadeia de ligações experimentais envolve a conjunção de experimentos. Essa técnica ocorre quando as coisas que seriam ineficazes individualmente são eficazes quando agrupadas. Um exemplo que, de acordo com Bacon, é claro por si mesmo, abrange a eficácia de refrigeração do gelo e do nitro. Juntos, são visivelmente mais eficientes. No entanto, como ele adverte, essa técnica também está passível de enganos quando as coisas em junção operarem distintamente daquilo que, a princípio, seria mais sensato; como sempre pode ocorrer na inexistência de axiomas.

O acaso é a última técnica mencionada por Bacon. “Esta forma de experimentação é meramente irracional e por assim dizer tola” (BACON, 1882, p. 82). Ocorre quando o experimento é desenvolvido, não porque a razão ou algum outro experimento conduz a isso, mas simplesmente porque ele nunca foi tentado antes. Jalobeanu (2016) salienta que não se pode deixar iludir-se por nomenclaturas.

A ênfase de Bacon não é na sorte e aleatoriedade, mas sobre o que é necessário para se chegar a algo novo em uma investigação experimental. Para Bacon, a mera experimentação é receptiva e cega. Não pode chegar a qualquer novidade. Além disso, acertos têm a característica de ser singular, nu e irreproduzível. A partir desta perspectiva, o “acaso” [sortes] só pode acontecer no final de um processo disciplinado de investigação. Para o pesquisador treinado, o “acaso” aparece como coroamento de um longo, disciplinado e meticuloso processo de descoberta (JALOBEANU, 2016, p. 339).

Para Bacon, uma das maiores capacidades da experiência instruída seria a de tornar possível a elaboração de analogias ou correlações da natureza que transcendem o isolamento

de várias artes (WEEKS, 2008). As oito técnicas por ele descritas contribuem para um esquema classificatório, onde o contexto experimental é variado, de modo que estende o domínio de investigação e possibilita a geração de novas descobertas. Elas são os meios de traduzir as experiências de uma arte para outra; “são de fato direções simples, mas que, no entanto, visam superar o empiricismo daqueles que inventam e experimentam no escuro” (OLIVEIRA, 2010, p. 175).

A interpretação da natureza, cuja função é a descoberta das causas, exige experimentos luminosos. Por consequência, a experiência instruída, que antecede esse processo de interpretação, pode fazer com que aqueles que realizam experimentações levianamente, “sem forma correta e método” se voltem para a produção desse tipo de experimento. “Se a experiência está organizada, sistematizada e filtra-se de acordo com um método, aquelas experiências [vagas] deixam de ser ‘meras experiências acidentais’ e tornam-se ‘experiências’” (GEORGESCU, 2011, p. 108).

Não obstante, embora esteja diretamente ligada aos métodos de experimentação, a experiência instruída seria mais uma sagacidade, uma “caça pelo faro”. Nesse sentido, ela não pode ser entendida como uma metodologia indutiva (WEEKS, 2008), uma vez que não gera um axioma. Como o próprio Bacon (BACON, 2006) ressaltou, ela é “uma etapa e rudimento” do procedimento descrito no *Novum Organum*.

Por fim, a *experientia literata* “é o método escolhido para explorar o mundo natural e para construir as correlações empíricas de coisas” (Georgescu, 2011, p. 109) e como Bacon aconselha:

ninguém deve ser desencorajado ou confundido se as experiências [instruídas] que ele tenta não responderem a sua expectativa. Pois, embora uma experiência bem-sucedida seja mais agradável, uma malsucedida, muitas vezes, não é menos instrutiva (BACON, 1882, p. 83).

1.4 *NOVUM ORGANUM* E *EXPERIENTIA LITERATA*: O MÉTODO LEMBRADO E A CHAMA DESMEMORIADA

Bacon influenciou consideravelmente a doutrina oficial da Royal Society, criada em 1660 (BUTTERFIELD, 1949; HACKING, 2012). Inclusive, esta instituição serviu de modelo para outras que se seguiram a ela, como as academias nacionais de Paris, São Petersburgo, Berlim.

Decerto, com Bacon e a recorrente citação/análise que se faz de sua principal obra, o *Novum Organum*, a “caracterização do que é a ciência, de como funciona, de quais são seus

principais procedimentos, transforma-se pela primeira vez na prescrição do que a ciência deve ser e do modo como ela deve proceder” (CARRILHO, 1994, p. 17). A ciência, nessa perspectiva, deveria seguir um conjunto de regras, a fim de se obter o conhecimento verdadeiro e o domínio dos fenômenos. A partir dessa concepção filosófica houve distintas críticas e defesas da indução⁸; ela foi modificada e aperfeiçoada por alguns, e desafiada radicalmente por outros (CHALMERS, 1993). O século XVIII, por exemplo, parece ter sido uma época de consolidação e de unificação da concepção baconiana-newtoniana⁹.

Em termos gerais, o empirismo e a indução – amplamente presentes no método experimental preeminente no *Novum Organum* – prevaleceram e serviram de base para o positivismo no século XIX e para o positivismo lógico dos Círculos de Viena e de Berlim, no século XX¹⁰. Assim, a filosofia da ciência nesse período se caracterizou, essencialmente, por uma permanente discussão desses princípios, “matizando-se em posições que vão da sua rejeição liminar até tentativas de reformulação que, de algum modo, prolongam a inspiração baconiana” (CARRILHO, 1994, p. 25).

Todavia, a *experientia literata* e, conseqüentemente, a análise dessa técnica para a investigação da natureza, foi (e está sendo) objeto de pesquisa entre estudiosos e historiadores da ciência somente a partir das últimas décadas. De acordo com Georgescu (2011), um dos primeiros estudos a lidar com essa interessante concepção baconiana foi o da historiadora Lisa Jardine, “*Experientia literata or Novum Organum? Bacon's two scientific methods*”, apenas em 1985. Apesar de existirem alguns estudos procedentes dessa data (GEORGESCU; GIURGEA, 2012; GEORGESCU, 2011; GIGLIONI, 2013; JALOBEANU, 2011, 2013, 2016; WEEKS, 2008) – no âmbito nacional, o livro “Francis Bacon e a fundamentação da ciência como tecnologia” (OLIVEIRA, 2010) é um exemplo –, permanece em aberto a real contribuição da experiência instruída na filosofia natural de Bacon.

⁸ David Hume, por exemplo, criticou a indução do ponto de vista lógico. Ele iniciou uma análise da indução, em termos das bases em que se assenta e da justificação que dela se dá. O problema de Hume perdurou até o século XX, através de respostas e reformulações diversas (CARRILHO, 1994). Todavia, ele reforçou o pensamento empirista, admitindo que só a experiência permite estabelecer leis naturais (BORGES, 1996.). Popper também teceu críticas, com argumentos lógicos, psicológicos e históricos, ao método indutivo. Ele “ênfatizou que ‘as nossas teorias são nossas invenções, nossas idéias — não se impõem a nós, são instrumentos que fabricamos’. Quando um cientista cria uma teoria, não o faz sempre inspirado por observações; pode buscar inspiração em qualquer fonte, inclusive na metafísica” (SILVEIRA, 1992, P. 37; POPPER, 1982, p. 144). Laudan (2000) traz uma abordagem interessante acerca das críticas à indução.

⁹ Cabe ressaltar que no tempo de Newton havia uma controvérsia entre os ingleses, com o método empírico, e os franceses que, à luz da filosofia cartesiana, associavam-se ao método dedutivo. Todavia, em meados do século XVIII, os pertencentes à escola francesa “não apenas se submeteram ao ponto de vista inglês, como, na sua famosa *Encyclopédie*, fizeram uma rotação completa, colocando Bacon em um pedestal” (BUTTERFIELD, 1949).

¹⁰ Cupani (1985) apresenta considerações relevantes sobre o positivismo.

Há conflitos embrionários, na literatura, entre a concepção filosófica do *Novum Organum* e aquela que permeia a *experientia literata*. Não foi possível, ainda, compreender a relação – se é que ela realmente existe – entre esses dois posicionamentos baconianos. Não está claro se a experiência instruída é uma alternativa de Bacon ao projeto eliminatório da indução ou parte dele. Jardine apresenta as duas estratégias como “conflitantes para lidar com o problema único do ceticismo relativo ao acesso ao conhecimento do fenômeno natural” (WEEKS, 2008, p. 167). Weeks evidencia que alguns estudiosos confundem a experiência instruída com uma metodologia indutiva. De acordo com a autora, há trabalhos que apontam, equivocadamente, que

No esquema de Bacon [...] a “sagacidade” seria substituída por uma experiência instruída, um método ordenado que começa com a compilação de experiências e observações, em seguida, procede-se à descoberta de instâncias prerrogativas, e termina com a formação de axiomas e leis da natureza (WEEKS, 2008, p. 165-166).

Efetivamente, como o próprio Bacon explicita, “a experiência instruída não se estende tão longe a ponto da invenção de um axioma. Qualquer transição de um experimento para um axioma, ou de um axioma para um experimento, pertence a outra parte, relativa ao Novo Organon” (BACON, 1882, p. 72). Isso já desqualifica qualquer colocação desacertada, que atribui à experiência instruída uma qualidade erroneamente indutiva.

Ao contrário das experiências vagas e não instruídas, a *experientia literata* oferece um procedimento metódico; contém as “boas” formas de experimentação. Ela é ao mesmo tempo pedagógica e heurística. “Desta forma, pode-se dizer, com Bacon, que ‘a arte da descoberta cresce com a descoberta’” (JALOBEANU, 2016, p. 340). Não obstante, como já foi dito, para Bacon a experiência instruída é apenas uma “etapa e rudimento” do método descrito no *Novum Organum*. Assim, entende-se, como Weeks, que “ela funciona [apenas] como um modo de invenção, e como uma primeira digestão dos materiais da história-natural em preparação para a interpretação da natureza” (WEEKS, 2008, p. 163).

O certo é que há posturas distintas nas duas obras de Bacon. A experiência instruída permite explorar a natureza e construir analogias, sem que seja necessário submeter os seus resultados a questões de “verdade”, uma vez que ela simplesmente decompõe o fenômeno investigado e analisa os fatores envolvidos, seja na sua geração ou em sua modificação. Já a Interpretação da Natureza acumula as teorias que explicam determinadas correlações (GEORGESCU, 2011). Como lembra Russel (1969), o método indutivo de Bacon, presente no *Novum Organum*,

(...) contém falhas por não dar suficiente importância à hipótese. Ele esperava que a simples disposição ordenada dos dados tornaria óbvia a hipótese correta, mas isto raramente se dá. Regra geral, a elaboração da hipótese é a parte mais difícil da obra científica, e aquela em que é indispensável grande habilidade (p. 67).

Em suma, com a *experientia literata*, Bacon:

(...) concebeu experiências em uma série ordenada, através de um processo muito semelhante ao que tem sido, às vezes, chamado de ‘experimentação exploratória’, ou seja, através de uma variação ordenada de parâmetros experimentais. Às vezes, esse processo de experimentação exploratória visa simplesmente compreender mais sobre um novo processo ou efeito observado na natureza. Outras vezes cumpre funções epistêmicas mais complexas, tais como a de classificação ou, para usar a frase de Steinle, ‘a formação de classificações e estruturas conceituais’ (JALOBEANU, 2013, p. 83-84).

Além disso, nas etapas da experiência instruída parece ser imprescindível a articulação entre hipóteses e experimentações. O investigador admite alguns fatores e condições que são susceptíveis a influenciarem o fenômeno em estudo e os faz variar. Assim, se ele “supõe, para alguns parâmetros, uma importância particular, é porque possui uma hipótese articulada com o fenômeno em estudo” (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PEREZ, 2002, p. 256). Isto, no entanto, é apenas admitido à luz de uma concepção de ciência contemporânea. Bacon, de fato, parece ter ignorado o papel das hipóteses¹¹.

1.5 EXPERIMENTAÇÕES EXPLORATÓRIAS: NOVAS PERSPECTIVAS NA FILOSOFIA EXPERIMENTAL

Os filósofos da ciência contemporâneos, de uma maneira geral, consideram as teses empírico-indutivistas ultrapassadas. A visão de um método rígido que orienta a construção do conhecimento parece realmente insustentável, sobretudo com a análise histórica da ciência. A concepção de que há observações neutras, que independem de pressupostos teóricos, é contra argumentada já há bastante tempo. Hanson (1979), por exemplo, salienta que observação e interpretação são indissociáveis. A ideia de que a experimentação, por si, via caminhos indutivos, gera conhecimento não pode ser sustentada. Afinal, ela é dependente de pressupostos teóricos, circunstanciais, sociais, culturais, retóricos e pode fazer parte de um pluralismo metodológico.

A experiência científica é orientada e mesmo valorizada pelo enquadramento teórico do sujeito, que em diálogo com ela a questiona, a submete a um interrogatório, de respostas não definitivas. A experiência enquadra-se num método pouco estruturado,

¹¹ Jalobeanu (2013) ressalta que recentemente alguns autores têm apresentado uma nova ‘releitura’ baconiana em que o papel das hipóteses em sua filosofia é revisto.

que comporta uma diversidade de caminhos, ajustando-se ao contexto e à própria situação investigativa (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002, p. 257).

Nesse sentido, no *Novum Organum*, pode-se dizer que Bacon deixou de considerar relevante (e até ignorar) muitos dos aspectos do que se pode classificar (em uma nova concepção experimental) de “experimento exploratório”, amplamente presente na pesquisa científica, como mostra a história da ciência (RAICIK; PEDUZZI, 2015a; STEINLE, 1997, 2002, 2006). Todavia, há muitas sobreposições entre essa classe de experimentos e a *experientia literata*. Jalobeanu (2013)¹², ao analisar as obras de Bacon, salienta que esta relação é evidente. Neste artigo, busca-se exemplificar essa justaposição com a análise concisa de episódios históricos. Cabe ressaltar que se reconhece, nas ponderações seguintes, que as posturas filosóficas da conceitualização apresentada por Steinle e aquela que norteou a concepção baconiana de ciência são, essencialmente, antagônicas.

De acordo com a conceitualização de Steinle¹³, os “experimentos exploratórios” representam uma categoria de experimentos que, normalmente, aparecem na ciência em momentos em que não há bem estabelecido um quadro teórico de conhecimento. Conceitos ainda estão sendo elaborados, fenômenos melhor investigados, classificações sendo iniciadas. As experiências são conduzidas, sobretudo, pelo desejo de obter regularidades empíricas e “descobrir” conceitos apropriados por meio dos quais essas regularidades podem ser formuladas. Não servem, simplesmente, para corroborar ou refutar teorias. É nesse sentido que Hacking (2012) argumenta que o experimento pode ter vida própria. Apesar da sua autonomia quanto à teoria, o experimento pode ser, e muitas vezes é, sistemático e dirigido, inclusive por objetivos epistêmicos; entender, compreender, ‘descobrir’.

Algumas características comuns das experiências exploratórias podem ser identificadas quando elas são minuciosamente analisadas. Normalmente, vê-se a busca por uma regularidade empírica, a variação de um grande número de parâmetros experimentais (o tipo de material, as condições sob as quais se encontram, entre outros), a análise de quais parâmetros afetam o efeito/fenômeno em questão e quais são essencialmente necessários, e a possível formação de novos conceitos. A princípio, e aparentemente, esses aspectos podem assemelhar-

¹² Jalobeanu (2013) busca mostrar que, em muitos casos, Bacon concebeu experimentos em uma série ordenada, através de um processo muito semelhante ao conceito de experimentação exploratória. Isto é, através de uma variação ordenada de parâmetros experimentais.

¹³ Cabe ressaltar que a conceitualização de Steinle (1997) é bem específica. O autor reconhece que o termo “experimento exploratório” é amplamente utilizado na literatura, contudo com significados distintos dos que ele atribuiu. Neste artigo, segue-se o delineamento dado por Steinle à essa classificação de experimentos.

se a algumas considerações baconianas, como aquelas relativas a *experientia literata*: variação, produção, translação, inversão, compulsão, aplicação, conjunção, acaso, de experimentos. Não obstante, a “experimentação exploratória” não perpassa por um processo específico e bem definido, isto é, não segue regras ou métodos prescritivos, tampouco exclusivamente o método experimental delineado por Bacon no *Novum Organum*. Mas inclui todo um conjunto de diferentes abordagens experimentais e uma profícua dinâmica entre hipótese e experimentação.

Possíveis sobreposições entre os conceitos de “experimentação exploratória” e *experientia literata* podem ser encontradas na história da ciência. Alguns estudos desenvolvidos no campo da eletricidade são exemplos disso. Stephen Gray elaborou inúmeros experimentos exploratórios, simples e qualitativos, que oportunizaram ‘descobrir’ a condução elétrica e, por meio de sistematizações, enunciar a conceitualização dos corpos que conduzem e dos que não conduzem a virtude elétrica (RAIČIK; PEDUZZI, 2016b). Sempre instigado a encontrar novas descobertas, no desenrolar de seus estudos, ele se deparou com algo inesperado quando, com o propósito de manter um tubo de vidro oco limpo e sem o incômodo da poeira, fechou as laterais do mesmo com rolhas. Ao eletrizar o tubo fechado, ele observou que uma das rolhas, que não havia sido eletrizada, atraiu para si uma pena. Ele não poderia supor que a rolha iria atrair alguma coisa, dado que na época se sabia que apenas corpos eletrizados possuíam essa capacidade. Essa observação aconteceu inesperadamente; como ele mesmo afirmou: “eu estava muito surpreso” (GRAY, 1731-2, p. 20).

Embora umas das técnicas da *experientia literata* seja referente ao acaso, Bacon salientou que ela é “tola” e “irracional”, pois como sobredito este tipo de experiência acontece simplesmente porque nunca foi desenvolvida anteriormente. No *Novum Organum*, Bacon ressaltou que experimentos sem um procedimento rigoroso eram impróprios e inadequados, pois levavam “os homens a vagar sem rumo fixo, deixando-se guiar pelas circunstâncias; vêm-se rodeados de uma multidão de fatos, sem qualquer proveito; ora se entusiasma, ora se distraem; presumem sempre haver algo a mais a ser descoberto” (BACON, 1979, I, LXX, p. 39). Não obstante, pode-se argumentar que o “acaso” de Bacon só pode acontecer se o estudioso estiver imerso em um processo investigativo ordenado. Ou seja, este acaso só favorece uma mente preparada.

O encontro de Gray com o acaso mostrou-se bastante produtivo. Ele se entregou a uma busca incansável para compreender aquele novo fenômeno e analisar com quais materiais o mesmo efeito se repetiria. Realizou, assim, diferentes experimentos exploratórios, levantou novos questionamentos e chegou à descoberta da condução elétrica por contato. Nesse percurso

ele perpassou pelas técnicas de variação na matéria (ao utilizar distintos materiais ao invés da rolha, como esferas de marfim, de metal, etc.), de produção em sua extensão (ao verificar se a atração se daria da mesma maneira modificando as dimensões dos materiais), de conjunção (ao utilizar junto com a rolha – ou as esferas – corpos acoplados, como barbantes e varas de madeira para verificar a eficiência da comunicação da virtude elétrica).

Da mesma forma, o processo de formação de conceitos e definições nos estudos de Charles Du Fay, com todas as suas revisões, erros, testes, dúvidas e períodos sucessivos de incompreensões perante o observável, está diretamente ligado a um intenso e contínuo trabalho experimental exploratório (RAICIK; PEDUZZI, 2015b). Neste caso, o objetivo de Du Fay era “o de formular epistemicamente regularidades e criar noções necessárias para expressá-las” (STEINLE, 2002, p. 412). Em uma de suas experiências, ele esfregou um tubo de vidro para torná-lo elétrico e, segurando-o horizontalmente, deixou cair sobre este um pedaço de folha de ouro. Constatou que tão logo a folha de ouro tocava no tubo ela era repelida perpendicularmente a uma distância que variava de acordo com o seu “turbilhão”¹⁴ elétrico. Assis (2011) menciona que o comportamento regular de atração-contato-repulsão - que Heilbron (1979) denominou regularidade ACR – foi considerado por Du Fay uma grande descoberta “e isto com razão, já que a partir deste princípio é possível compreender uma grande quantidade de fenômenos elétricos” (ASSIS, 2011, p. 75).

Com o intuito de analisar, sistematizar e encontrar um mecanismo simples que descrevesse o afastamento entre os corpos depois de ter havido atração, Du Fay refez algumas experiências já desenvolvidas por outros estudiosos. Nesse percurso, realizou procedimentos que poderiam ser compreendidos como pertencentes a *experientia literata*. Ele fez diversas variações experimentais – no que se refere à matéria, à eficiência e à qualidade – modificando as distâncias, os tipos de materiais, a extensão dos corpos etc. Além disso, um dos objetivos da experiência instruída é a geração dos experimentos lucíferos, necessários para a descoberta das causas e de princípios. Com sua investigação e, conseqüentemente, seus resultados, Du Fay elaborou experimentos desse tipo, ainda que ele não tenha seguido “regras” ou etapas pré-estabelecidas. Nesse sentido, pode-se supor, mais uma vez, que há aproximações entre a concepção de Steinle e aquela definida por Bacon. A experimentação exploratória não representa um jogo “sem sentido”, mas caracteriza-se por definidas diretrizes e metas experimentais (STEINLE, 2002). Um de seus propósitos, assim como o da *experientia literata*,

¹⁴ Turbilhão elétrico: equivalente à virtude elétrica; qualidade elétrica.

envolve a identificação de quais parâmetros afetam os fenômenos em questão e se eles são essenciais.

Naturalmente, os experimentos exploratórios não se limitam ao campo da eletricidade; eles não apenas estão presentes como são usuais na história da ciência. Robert Brown (BROWN, 1828) fez um amplo uso dos mesmos em seus estudos sobre o que viria ser conhecido como o movimento browniano.

Por meio do microscópio, Brown desenvolve “experimentos exploratórios”. Ele constata que os grãos de pólen, quando colocados na água, rompiam-se e que as partículas liberadas de seu interior apresentavam movimentos desordenados e incessantes. A fim de compreender esse desconcertante fenômeno, ele elabora diferentes hipóteses que, dialogadas com as experimentações que realiza, são confrontadas, orientam sua pesquisa e evidenciam que esse movimento demandava uma explicação física e não biológica, como inicialmente ele havia conjecturado. Assim, produzindo inúmeros experimentos, utilizando partículas de pólen seco, poeira, fuligem e minérios de vários elementos, sólidos de qualquer natureza, rejeita a hipótese do movimento ser causado por constituintes vivos da matéria, uma vez que substâncias inorgânicas apresentavam o mesmo comportamento que os componentes dos grãos de pólen. A experimentação nesse momento estava, sobretudo, propiciando a avaliação de caminhos para a explicação de um fenômeno novo, intrigante e ainda não compreendido, em semelhança a *experientia literata* que serviria como um guia a observações da natureza. A relação entre as hipóteses realizadas por Brown e suas experimentações, embora não contemplem as oito etapas de Bacon, evidenciam sobreposições no que se refere à variação, produção e conjunção de experimentos.

Mesmo à luz de considerações bastante gerais, é possível perceber, nos exemplos mencionados, que uma das principais características da “experimentação exploratória” é a dinâmica entre hipóteses e experimentações. Além disso, essa classe de experimentação, com frequência resulta no estabelecimento de uma hierarquia dentro do reino dos fenômenos. No topo estão aqueles fenômenos que envolvem condições essenciais e que, por isso, recebem um estatuto especial. Os outros efeitos podem ser explicados a partir desses fenômenos “elementares”; o arranjo experimental passa a ser progressivamente mais complexo, adicionado a novas condições (RIBE; STEINLE, 2002). Esta característica do processo experimental exploratório remete, claro que limitadamente, às ideias baconianas; ainda que elas permitam uma pluralidade metodológica não reconhecida por ele.

Bacon aproximou-se, em termos, da ideia de experimentação exploratória quando primou por uma regularidade empírica, frisou a variação experimental – bem como as demais etapas da experiência instruída –, e afirmou, no *Novum Organum*, que se deve buscar não apenas uma quantidade muito maior de experimentos, como também de gênero diferentes. Ainda, quando acentuou que os experimentos não deveriam se limitar apenas a corroborar o que já se sabe de antemão. Robert Boyle, um de seus maiores admiradores e seguidores, quando desenvolvia experimentos, raramente queria “demonstrar o que já era conhecido (...), desejava era ver como a natureza se comportava em circunstâncias que nunca [ou raramente] haviam sido observadas antes, ou às vezes nunca havia ocorrido” (KUHN, 2011, p. 67).

A concepção baconiana, sobretudo a presente no *Novum Organum*, apesar de muito limitada e deficiente diante de novas posturas filosóficas, pode indicar algumas funções epistêmicas da experiência, como a classificação de fenômenos, diferentes atividades na produção de novos fenômenos, os experimentos ditos “cruciais”, refutações de concepções filosóficas (GEORGESCU; GIURGEA, 2012; JALOBEANU, 2016; STEINLE, 2002).

Além disso, as seguintes funções epistêmicas têm sido associadas com o procedimento de *Experientia Literata* (...): a delimitação dos fatores essenciais para a ocorrência de um fenômeno e, portanto, a identificação das relações de dependência; a geração de efeitos previamente desconhecidos que resultam em inovações conceituais que podem, às vezes, contribuir para explicações locais de algumas propriedades ou para o comportamento do processo investigado; e a extensão do domínio da investigação através da inclusão de fenômenos desconectados de outro modo e o estabelecimento de regularidades empíricas (GEORGESCU, 2011, p. 117).

A fim de entenderem em que sentido a *experientia literata* pode iluminar possíveis causas das coisas físicas, Georgescu e Giurgea (2012) discorrem sobre um experimento lucífero, apresentado por Bacon. O experimento envolve a análise de certas substâncias, depois de serem trabalhadas para se ajustar a um cubo de prata, em comparação a uma medida padrão de um cubo de ouro. O seu principal resultado é uma tabela de densidades relativas que contém uma série de instâncias feitas a partir de um ajuste experimental de proporções entre uma variável constante, o ouro, e outras substâncias. Segundo as autoras, a experiência não foi construída como um teste para uma teoria, mas como um mecanismo para fornecer importantes *insights* sobre a distribuição da matéria. O experimento envolve a extração de informações que aumenta o nível de inteligibilidade da questão, mas não necessariamente resolve totalmente a questão; uma vez que existem uma infinidade de substâncias, o experimento se mantém sempre apto a gerar novos resultados pela variação da matéria. Utilizando também outra técnica da experiência instruída, a produção, o experimento pode ser empregado para estabelecer as quantidades de substâncias presentes na mistura; e como há um infinitude de substâncias que

podem ser utilizadas, o experimento permite envolver ainda a técnica de variação da quantidade.

Esse exemplo contém muitos aspectos da experimentação exploratória. Ribe e Steinle (2002) salientam que esta classe de experimentos visa a variedade e a iniciação complexa de um determinado campo do conhecimento e, simultaneamente, o desenvolvimento de novas categorias que permitam estabelecer uma ordem básica dos experimentos, mais do que a sua multiplicidade. Isso nada mais parece ser que as técnicas anteriormente mencionadas, produção e variação. Tanto a experiência *literata* quanto a “exploratória” são, em partes, dirigidas por preocupações epistêmicas. No exemplo acima pode-se citar, entre outros, o estabelecimento de conclusões provisórias sobre as densidades dos corpos e a refutação de doutrinas filosóficas (como a teoria aristotélica dos elementos) ou aquelas do senso comum (de que corpos pesados são mais densos do que corpos leves) (GEORGESCU; GIURGEA, 2012).

Na *experientia literata* os resultados não são conhecidos de antemão, mas como o experimento prossegue através de técnicas específicas, eles são considerados relevantes. A novidade dos resultados é parte do que explica o papel produtivo da experiência instruída. Esta é, de acordo com Georgescu (2011), uma de suas funções mais valiosas. Ambos os tipos de experimentação, *literata* e exploratória, não são projetadas para testar/corroborar uma teoria, mas para explorar um problema, investigar e compreender a natureza. Consequentemente, a variação e a diversificação experimental ajudam “a mapear e dissecar a coisa investigada e avançar no conhecimento através do estabelecimento de regularidades empíricas (...) e gerar continuamente novos problemas relevantes” (GEORGESCU, 2011, p. 110).

Em suma, Bacon influenciou as novas condutas experimentais em seu século. As concepções que apresenta no *Novum Organum* foram retomadas e modificadas no âmbito filosófico com as teses positivistas, como já foi mencionado, e estas enfraqueceram as funções epistêmicas da experimentação. Hacking (2012) visou valorizar a ciência experimental que, no campo da filosofia até as primeiras décadas do século XX, havia sido limitada a servir à teoria. Como aponta Steinle (2002), a distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa explicitada por Reichenbach, líder do Círculo de Berlim e pertencente ao Círculo de Viena, e que reuniu muitos adeptos, Popper entre eles, contribuiu consideravelmente para isso. A filosofia reichenbachiana estava imersa no empirismo lógico que não objetivava analisar os processos da pesquisa científica, mas tão somente os seus resultados. Isto é, as “descobertas” (como produto) realizadas, as teorias elaboradas, os métodos (lógicos) utilizados e a justificação

empírica que derivam da teoria (RAICIK; PEDUZZI, 2015a). Como destaca Echeverria (1998), nesse sentido,

o contexto da descoberta não era objeto da epistemologia ou da filosofia da ciência, mas da psicologia, da história e da sociologia. A gênese das teorias não teria interesse algum para os defensores da epistemologia científica na década de 30 (p. 53).

As correntes de pensamento em meados do século XX ampliaram a noção que se tinha de ciência, sobretudo com reações a dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa. Isso implicou em admitir que diferentes elementos fazem parte da atividade científica; os erros, a casualidade, a interação humana, as ideias, as hipóteses. Um dos enfoques desta nova perspectiva defende a importância de reconhecer o papel construtivo da experimentação na construção do conhecimento (HACKING, 2012).

Ao resgatar alguns tópicos baconianos, por exemplo, Hacking não visou instituir e validar uma concepção empírico-indutivista e atórica da ciência. Afinal, desde as novas discussões acerca da ciência, que surgiram a partir da década de 1950, aproximadamente, essa compreensão já era contestada por filósofos e historiadores, tendo como crítica central a inseparabilidade entre pressupostos teóricos e observacionais (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002). De fato, Bacon acentua que a mente tem de estar purificada, livre dos ídolos que deturpam a investigação que leva ao conhecimento. Hacking, no entanto, lembra também que

a ciência, conforme nos escreveu Bacon, precisa ser como a abelha, que, possuidora dos talentos tanto da formiga quanto da aranha, é capaz de fazer mais do que elas separadamente, pois digere e interpreta tanto os experimentos quanto a especulação (HACKING, 2012, p. 367).

Assim, ao analisar o método indutivo de Bacon três séculos depois, Hacking buscou mostrar que não se pode menosprezar a experimentação limitando a sua função na ciência. A história revela que ela está presente em distintas etapas da pesquisa científica, que dialoga constante e proficuamente com a teoria e que é dependente das circunstâncias contextuais de cada época e situação.

Não obstante, Bacon parece ter sido esquecido quanto às suas demais contribuições filosóficas sobre a experimentação. A *experientia literata* e sua pouca atenção na literatura atesta isso. As aproximações entre ela e a experimentação exploratória nada mais evidenciam que é possível, se não desejável, um resgate baconiano. Com ele, novos horizontes podem ser aprofundados e debatidos tanto na esfera filosófica quanto no ensino de ciências.

1.6 IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS: UM NOVO OLHAR PARA A EXPERIMENTAÇÃO

Nas últimas décadas, como já foi destacado, houve uma crescente atenção à concepção epistêmica da experimentação no desenvolvimento científico. Uma nova geração de historiadores e filósofos iniciou discussões relevantes acerca dos papéis que o experimento possui na ciência. Neste contexto, argumentou-se que a experimentação não serve apenas para corroborar, ou falsear, uma teoria, mas que possui um papel independente dela ou, ainda, uma função de mesma magnitude (GARCIA; ESTANY, 2010). Reconheceu-se que a relação entre experimento e teoria é mais profunda e passível de uma enorme riqueza conceitual e filosófica. Para além dos aspectos estritamente teóricos do processo científico, eles buscaram evidenciar que “a ciência não apenas pensa sobre o mundo - ela constrói e reconstrói o mundo. A ciência para eles faz jus à denominação inicialmente dada pelos pensadores do século XVII: é [sic] uma filosofia experimental” (CALIMAN; ALMEIDA, 2009, p. 466).

A conceitualização e a análise dos “experimentos exploratórios” exemplifica muitas noções dessa nova vertente filosófica. O experimento pode possuir uma vida própria; ele não é, pura e simplesmente, condicionado a servir a um corpo teórico de conhecimento. Esse enfoque rompe com a tradição positivista, segundo a qual a relevância da experimentação estaria condicionada, sempre, às teorias.

Steinle (1997) argumenta que uma compreensão mais completa da experimentação só pode ser plenamente alcançada mediante uma associação entre a história e a filosofia da ciência. Nesse sentido, pode-se ver a sua pluralidade metodológica, as suas distintas funções, e a sua relação com o corpo teórico de conhecimento. Nos últimos anos, tem havido alguns grupos de pesquisa que envolvem a experimentação com essa dimensão no ensino de ciências, por meio da reprodução e discussão de “experimentos históricos” (ASSIS, 2011; KIPNIS, 2001; 2005; MEDEIROS; MONTEIRO, 2001).

Entretanto, como aponta Matthews (1995), a aproximação entre história e filosofia no ensino surge, efetivamente, apenas no final do século XX. Assim, o ensino de ciências ainda carrega ideias de tradições superadas. No começo da década de setenta dominava a perspectiva dos projetos, como o PSSC (Physical Science Study Committee), o BSSC (American Biological Science Curriculum Study), o Nuffield, entre outros. Esses projetos estavam fortemente ligados a posições empiristas da ciência, nas quais não se refletia – embora houvesse, claramente, uma função epistêmica atribuída ao experimento – o contexto histórico, cultural, social e

epistemológico da experimentação (VILLANI, 2001). Em termos gerais, as tentativas de renovação do ensino, como a referente à “aprendizagem por descoberta”, incorriam em uma visão ateórica, centrada em um suposto método; não havia preocupação de se discutir aspectos *sobre* a ciência.

Apesar de a visão empírico-indutivista estar ultrapassada entre os filósofos e os historiadores, ela continua fortemente presente no ensino (EL-HANI, 2006; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; GÁRCIA-CARMONA, VÁZQUEZ; MANASSERO, 2012; GIL PÉREZ *et al.*, 2001; NETO; SILVA, 2012; SILVEIRA; OSTERMANN, 2002). A concepção de professores, de estudantes e, até mesmo, a que ainda está presente em materiais didáticos, de modo geral,

destaca o papel ‘neuro’ da observação e da experimentação (não influenciadas por idéias apriorísticas), esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo (GIL PÉREZ *et al.*, 2001, p. 129).

Muitas vezes, nessa perspectiva, a essência da ciência limita-se à experimentação: não refletida, idealizada, que tem por função gerar conhecimento de forma neutra e validá-lo. Isso é semelhante ao que Bacon afirmava no *Novum Organum*: o ponto de partida da ciência é constituído por “instâncias e experimentos oportunos e adequados, onde os sentidos julgam somente o experimento e o experimento julga a natureza e a própria coisa” (BACON, 1979, I, L, p. 26).

A objetividade da ciência indutivista deriva do fato de que tanto a observação como o raciocínio indutivo são eles mesmos objetivos. Proposições de observação podem ser averiguadas por qualquer observador pelo uso normal dos sentidos. Não é permitida a intrusão de nenhum elemento pessoal, subjetivo. A validade das proposições de observação, quando corretamente alcançada, não vai depender do gosto, da opinião, das esperanças ou expectativas do observador (CHALMERS, 1993, p. 34).

No ensino de ciências, essas concepções são prejudiciais à compreensão da ciência pautada em uma filosofia mais moderna. Este tipo de interpretação limitada acerca da construção do conhecimento traz consigo a presunção de que evidências independentes de pressupostos teóricos estão disponíveis, e que testes não ambíguos são possíveis; o que a história da ciência mostra não ser a realidade. Não há observações neutras. O próprio Bacon admite que um experimento não precisa dar fim à tarefa de interpretação, pois ele pode retrair seus passos (HACKING, 2012).

Torna-se imprescindível, e um “requisito inquestionável, modificar a imagem da Natureza da Ciência que os professores têm e transmitem” (PRAIA; GIL PÉREZ; VILCHES, 2007, p. 147), quando se preza por um ensino que visa compreender o funcionamento da

ciência, e não apenas os seus conteúdos admitidos como produtos. A história e a filosofia da ciência podem auxiliar nesse sentido, evidenciando as sutilezas da experimentação, a subjetividade que permeia qualquer pesquisa, a dinâmica entre hipóteses e experimentos, a riqueza científica. Como explicitam Clough e Olson (2008), os exemplos históricos, em qualquer nível, são úteis para gerar discussões *sobre* ciência e para permitir compreender a sua natureza contextual.

A análise epistemológica da experimentação, à luz da nova filosofia da ciência, possibilita romper com a visão limitada e ultrapassada da ciência engessada em um empirismo distorcido. A contextualização dos “experimentos exploratórios” permite contra exemplificar a visão de que a ciência é alheia a aspectos subjetivos, segue rigorosamente *um* método, utiliza-se da experimentação apenas como fonte e validação de conhecimentos, é neutra. Atividades experimentais envolvendo a reflexão do conceito de experimentação exploratória também podem se mostrar frutíferas no ensino (RAICIK; PEDUZZI, 2015c). Além de contribuírem para um aprendizado mais significativo de conceitos científicos, ensejam que os alunos reflitam, por exemplo, acerca da dinâmica entre hipóteses e experimentos na ciência. Ou seja, sobretudo, possibilitam evidenciar a não neutralidade que permeia qualquer atividade. Com a história da ciência, pode-se ver que Brown, Du Fay, Gray e tantos outros estudiosos “não eram um monte de empiristas irracionais sem nenhuma ‘ideia’ em suas cabeças. Eles viram o que viram por serem pessoas curiosas, inquisitivas, reflexivas” (HACKING, 2012, p. 244). As próprias concepções baconianas podem ser melhores revistas e, devidamente ponderadas e atreladas a episódios históricos, propiciarem uma melhor compreensão desses aspectos.

A *experientia literata*, ignorada no ensino, e pouco discutida na literatura, pode, juntamente com o conceito de experimentação exploratória, resgatar muitas concepções epistêmicas do experimento no desenvolvimento científico. As técnicas apresentadas por Bacon, embora para ele sejam regras que delimitam o trabalho do experimentador, podem ser vistas, à luz da “experimentação exploratória”, como distintos procedimentos experimentais que nada mais fazem do que evidenciar a pluralidade científica. Nesse sentido, embora façam parte de posturas filosóficas distintas, os processos sugeridos à experiência instruída apresentam sobreposições com algumas características da experimentação exploratória, como a melhor investigação dos fenômenos (variando as suas condições), a classificação dos fenômenos, a busca por uma regularidade empírica. Isso pode gerar discussões, no ensino, da já existente ideia, no início da era moderna experimental, de que os experimentos poderiam e deveriam passar por reexames. Para além de uma mera repetição, haveria um aprofundamento

experimental nesse processo, guiando a novas observações, pois, como Bacon já apontava, a indução por enumeração “é completamente corrompida e incompetente” (BACON, 2006, p. 147).

À guisa de conclusão, buscou-se evidenciar neste artigo, sucintamente, que à imagem de Bacon não se pode apenas associar uma ciência puramente enquadrada no empirismo-indutivista. Para além dessa consideração, ele ressaltou a importância do questionamento, da reflexão na pesquisa, da existência do erro, principalmente com a *experientia literata*. No ensino, esses aspectos podem ser instigados pelo professor, a fim gerar discussões sobre o contexto de desenvolvimento da ciência em sala de aula e, conseqüentemente, analisar a relevância e o papel da experimentação em uma dimensão mais favorável e não restringida. Todavia, é essencial que a filosofia de Bacon seja contextualizada, uma vez que uma nova visão baconiana é pouco conhecida. A carências de referências nacionais resgatando o conceito de *experientia literata* é uma clara evidência disso que, inevitavelmente, acaba transmitindo uma visão bastante limitada de Bacon. A sua filosofia experimental é o que o conduz a determinadas interpretações da natureza; e ela, por si – quando não refletida e não ponderada com as novas considerações experimentais –, é mais danosa do que instrutiva, em termos atuais. Além disso, a filosofia baconiana, com exceção das críticas depreciativas à parte de seu método experimental, é desconhecida no ensino de ciências.

Outra possibilidade de reflexão epistemológica da experimentação, via noções baconianas, não discutida neste artigo, é através de um resgate à ideia de experimentos cruciais. No ensino de ciências, a visão comum que se tem é que eles existem e permitem decidir entre teorias rivais (HODSON, 1988). Assim, uma controvérsia científica, por exemplo, poderia ser resolvida por meio de *um* experimento. Uma análise histórica-filosófica de “experimentos exploratórios” com as colocações acerca da *instância crucis* pode evidenciar que essa concepção presente em sala de aula é falha. O significado de experimento crucial está longe de se mostrar inequívoco para filósofos e cientistas, mostrando a sua complexidade. Alguns episódios históricos evidenciam que a ideia de um experimento definidor e incontestável para a aceitação de uma teoria é uma ilusão, como ocorreu inúmeras vezes no embate entre Galvani e Volta (PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013), ou ainda com o famoso *experimentum crucis* de Newton (GRANÉS, 2001; LOHNE, 1968).

Resgatar a experimentação à luz de conceitos filosóficos mais atuais pode permitir, enfim, “reconhecer a importância e a validade das práticas experimentais na constituição da ciência, sua função independente da teoria ou em equilíbrio com ela” (GARCIA; ESTANY,

2010, p. 11); esclarecer que ela pode possuir distintos papéis na construção do conhecimento, no entendimento da natureza; salientar que ela não necessita de “um” método e funções pré-estabelecidas. Em síntese, pode propiciar também um ensino *sobre* a ciência, além de *em e pela* ciência (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011). Cabe ressaltar que Bacon, apesar de instituir uma concepção no *Novum Organum* que, aliada às teses positivistas, é duramente empírico-indutivista, permitiu que a experimentação tivesse o seu lugar na ciência. A sua ideia de *experientia literata* atesta isso. No final do século passado, o que muitos filósofos e historiadores buscaram fazer foi examinar esse lugar e, diferentemente de Bacon, considerar a experimentação em toda a sua pluralidade. Cabe ao ensino de ciências levar essas considerações para a sala de aula.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

BACON, F. Of the dignity and advancement of learning, books IV-IX. In Spedding, J. Ellis, R. L. & Heath, D. D. (Ed.). **The Works of Francis Bacon** (pp.13-345). Boston: Houghton, Mifflin and Company, 1882.

BACON, F. **Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza; Nova Atlântica**. São Paulo: Abril Cultural, 1979.

BACON, F. **Da proficiência e o avanço do conhecimento divino e humano**. São Paulo: Madras Editora, 2006.

BLAGA, L. **O experimento e o espírito matemático**. São Paulo: É realizações Editora, 2014.

BORGES, R. M. R. **Em debate: cientificidade e educação em ciências**. Porto Alegre: SE/CECIRS, 1996.

BRASIL. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015; física: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2014.

BROWN, R. A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies. **Edinburgh New Philosophical Journal**, v. 5, p. 358-371, 1828.

BUTTERFIELD, H. **As origens da ciência moderna**. Portugal: Edições 70, 1949.

CALIMAN, L. V.; ALMEIDA, R. G. Entrevista com Ian Hacking (por Paul Kennedy e David Cayley). **Psicologia & Sociedade**, v. 21, n. 3, p. 465-470, 2009

CARRILHO, M. M. **A filosofia das ciências de Bacon a Feyerabend**. Lisboa: Editorial Presença, 1994.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

CLOUGH, M. O.; OSLOM, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, n. 2, p. 143–145, 2008.

CUPANI, A. **A crítica do positivismo e o futuro da filosofia**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1985.

ECHEVARRÍA, J. **Filosofía de la ciencia**. Ediciones Akal, 1998.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de História e Filosofia das Ciências na educação científica de nível superior. In C. C. (Org.). **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: Da Teoria à Sala de Aula** (pp. 3-22). São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

FERNÁNDEZ, I.; GIL PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones Deformadas de La Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. **Enseñanza de las ciencias**, v. 20, n. 3, p. 477-488, 2002.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

FRANKLIN, A. **The neglect of experiment**. New York: Cambridge University Press, 1986.

FRANKLIN, A. Física y Experimentacion. **Theoria**, v. 17, n. 2, p. 221-242, 2002.

GÁRCIA-CARMONA, A.; VÁZQUEZ, Á. A.; MANASSERO, M. A. M. Comprensión de los estudiantes sobre Naturaleza de la Ciencia: análisis del estado atual de la cuestión y perspectivas. **Enseñanza de las ciencias**, v. 30, n. 1, p. 23-34, 2012.

GARCIA, E. G. A.; ESTANY, A. Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. **Praxis Filosófica**, v. 31, p. 7-24, 2010

GEORGESCU, L.; GIURGEA, M. Redefining the Role of Experiment in Bacon's Natural History: How Baconian was Descartes before Emerging from His Cocoon? **Early Science and Medicine**, v. 17, n. 1-2, p. 158-180, 2012.

GEORGESCU, L. A new form of knowledge: Experientia Literata. **Society and Politic**, v. 5, n. 2, p. 104-120, 2011.

GIGLIONI, G. Learning to Read Nature: Francis Bacon's Notion of Experiential Literacy {Experientia Literata} **Early Science and Medicine**, v. 18, n. 4-5, p. 405-434, 2013.

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

GOODING, D. C. Experiment. In W. H. Newton-Smith, W.H. (Ed.). **A companion to the philosophy of science** (pp. 117-126). USA: Blackwell Companions to Philosophy, 2000.

GRANÉS, J. S. **La gramática de una controversia científica**: El debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz. Colombia: Editorial Unibiblos, 2001.

GRAY, S. A letter to Cromwell Mortiner, M. D. Secr. R. S. Containing Several Experiments concerning Electricity. **Philosophical Transactions**, v. 37, p. 18-44, 1731-2.

HACKING, I. Entrevista com Ian Hacking (por Paul Kennedy e David Cayley). **Psicologia & Sociedade**, v. 21, n. 3, p. 465-470, 2009.

HACKING, I. **Representar e Intervir**: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HANSON, N. R. Observação e interpretação. In S. Morgenbesser (Ed.). **Filosofia da ciência** (pp.127-138). São Paulo: Cultrix, 1979.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th & 18th Centuries**. Berkeley: University of California Press, 1979.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, p. 53-66, 1988.

JALOBEANU, D. Core experiments, natural histories and the art of experientia literata: the meaning of baconian experimentation. **Society and Politics**, v. 5, n. 2, p. 88-103, 2011.

JALOBEANU, D. Learning from experiment: classification, Concept formation and modeling in Francis Bacon's experimental philosophy. **Rev. Roum. Philosophie**, v. 57, n. 2, p. 75-93, 2013.

JALOBEANU, D. Disciplining Experience: Francis Bacon's experimental series and the art of experimenting. **Perspectives on Science**, v. 24, n. 3, p. 324-342, 2016.

JAPIASSU, H. **A face oculta da ciência moderna**. Rio de Janeiro: Imago Editora, 2013.

KIPNIS, N. Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. **Science & Education**, v. 10, n. 1-2, p. 33-49, 2001.

KIPNIS, N. Chance in Science: the discovery of Electromagnetism by H.C. Oersted. **Science & Education**, v. 14, n. 1, p. 1-28, 2005.

KUHN, T. S. **A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Unesp, 2011.

LAUDAN, L. Teorias do método científico de Platão a Mach. **Cad. Hist. Fil. Ci.**, v. 10, n. 2, p. 9-140, 2000.

LOHNE, J. A. Experimentum Crucis. **Notes & Records of The Royal Society**, v. 23, n. 2, p. 169-199, 1968.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO Jr, F. N. **A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física**. Publicação interna, 2001.

MOREIRA, A. M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 108-117, 1993.

NETO, J P. P.; SILVA, S A. Análise da História e Filosofia da Ciência nas aulas de Química no ensino médio, em duas escolas públicas estaduais na cidade de Campina Grande – PB. In **XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI)**. Salvador, BA, 2012.

OLIVEIRA, B. J. **Francis Bacon e a fundamentação da ciência como tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

PEDUZZI, L. O. Q. **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Florianópolis: publicação interna. Recuperado de http://docs.wixstatic.com/ugd/7d71af_b8d64ce76f164c869d5f7f633d0ac787.pdf

PERA, M. **The Ambiguous Frog: the Galvani-Volta controversy on animal electricity**. New Jersey: Princeton University Press, 1992.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. **Shocking Frogs**. New Your: Oxford Press, 2013.

POPPER, K. R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PÉREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.

PRAIA, J.; GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.9, n. 2, p. 149-176, 2016a.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 1, p. 109-128, 2016b.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015a.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Um resgate Histórico e Filosófico dos estudos de Charles Du Fay. **Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 105-125, 2015b.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Potencialidades e limitações de um módulo de ensino: uma discussão histórico-filosófica dos estudos de Gray e Du Fay. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 2, p. 138-160, 2015c.

RIBE, N.; STEINLE, F. Exploratory experimentation: Goethe, land, and color theory. **Physics Today**, v. 55, n. 7, p. 43-49, 2002.

ROSSI, P. **A ciência e a filosofia dos modernos: aspectos da Revolução Científica**. Tradução: Álvaro Lorencini. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1992.

RUSSEL, B. **História da filosofia ocidental: livro terceiro**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1969.

SILVEIRA, F. L. A Filosofia da Ciência e o Ensino de Ciências. **Em Aberto**, v. 11, n. 55, p. 36-41, 1992.

SILVEIRA, F. L.; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. especial, p. 7-27, 2002.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 65-74, 1997.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. In Schickore, J. & Steinle, F. (Ed.). **Revisiting Discovery and Justification** (pp. 183-195). Netherlands: Springer, 2006.

VIDEIRA, A. A. P. Breves considerações sobre a natureza do método científico. In C.C. Silva (Ed.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências** (pp. 23-40). São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

VILLANI, A. Filosofia da Ciência e Ensino de Ciência: Uma Analogia. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 169-181, 2001.

WEEKS, S. The role of mechanics in Francis Bacon’s great instauration. In Zittel, C. *et al* (Ed.). **Philosophies of technology: Francis Bacon and his contemporaries** (pp. 133-196). Leiden-Boston: Brill, 2008.

ZATERKA, L. **A filosofia experimental na Inglaterra do século XVII: Francis Bacon e Robert Boyle**. São Paulo: Associação Editorial Humanitas: Fapesp, 2004.

Capítulo 2

*Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na
filosofia e na ciência*

2 DA *INSTANTIA CRUCIS* AO EXPERIMENTO CRUCIAL: DIFERENTES PERSPECTIVAS NA FILOSOFIA E NA CIÊNCIA¹⁵

From the instantia crucis to the crucial experiment: different perspectives in philosophy and science

Resumo

A existência e o significado dos experimentos cruciais são questões que não ostentam consenso na ciência e na filosofia da ciência. Duhem, Popper e Lakatos, por exemplo, apresentam posicionamentos antagônicos entre si e, inclusive, em relação à ideia de *instantia crucis* explicitada por Francis Bacon no *Novum Organum*. Este artigo visa resgatar a definição baconiana, reconhecendo que ela faz parte de uma postura filosófica distinta das teses contemporâneas, e discutir algumas concepções de experimento crucial tanto por filósofos da ciência, quanto por alguns estudiosos, como Newton. Ainda, apontar algumas reflexões para o ensino de ciências.

Palavras-Chave: Experimentos cruciais; *Instantia crucis*; Francis Bacon; Filósofos da Ciência.

Abstract

The existence and meaning of crucial experiments are issues that do not hold consensus in science and the philosophy of science. Duhem, Popper and Lakatos, for example, present antagonistic positions among themselves and even in relation to the idea of *instantia crucis* made explicit by Francis Bacon in the *Novum Organum*. This article aims at rescuing the Baconian definition, recognizing that it is part of a distinct philosophical position of contemporary theses, and discussing some conceptions of crucial experiment both by philosophers of science and by some scholars, such as Newton. Also, point out some reflections for the teaching of sciences.

Keywords: Crucial experiments; *Instantia crucis*; Francis Bacon; Philosophers of Science.

2.1 INTRODUÇÃO

Ao longo do século XX a filosofia restringiu, consideravelmente, a perspectiva experimental da ciência. Franklin (1986) ressaltou que nas análises histórico-filosóficas sobre a ciência desse período o que prevalecia era o domínio teórico do conhecimento, e não o da experimentação que já tinha seu papel estabelecido e indiscutível. Ao negligenciarem¹⁶ o lado experimental da ciência, filósofos e historiadores estavam rejeitando a ideia de que o

¹⁵ Com pequenas alterações este artigo está publicado em *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 22, n. 3, p. 192-106, 2017.

¹⁶ Ao mencionar a ‘negligencia’ do experimento, Franklin se refere à relevância (hierárquica) da teoria sobre o experimento, conferida por muitos filósofos (Gooding, 2000).

experimento pudesse também gerar teorias¹⁷, deixando a sua função limitada, basicamente, ao teste das mesmas (STEINLE, 2002).

Essa visão restrita, promovida pela distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa (REICHENBACH, 1938), acabou se tornando a “visão padrão” da experimentação até meados do século passado (STEINLE, 2002). Desde então, as múltiplas facetas e finalidades do experimento na ciência passaram a ser bastante discutidas na filosofia da ciência (FRANKLIN, 1986; GOODING, 2000; HACKING, 1988, 2012). As concepções pós-positivistas buscaram (e buscam) evidenciar que o experimento não é apenas demonstrativo, não tem somente o papel verificacionista ou falsificacionista e que ele não é capaz de apresentar, por si só, dados capazes de decidir entre teorias distintas (ARTEAGA, 2011; HACKING, 1988).

As críticas ao positivismo lógico feitas por Karl Popper (1902-1994), Imre Lakatos (1922-1974), Thomas Kuhn (1922-1996), Norwood Hanson (1924-1967), Stephen Toulmin (1922-2009), Paul Feyerabend (1924-1994) acenderam a necessidade do “novo experimentalismo” pautado em considerações históricas, sociais, culturais, epistemológicas da experimentação na ciência. Ian Hacking, precursor do novo experimentalismo, exprime em “Representar e Intervir” (2012), publicado em 1983, a necessidade de se reconhecer que “experimentar é criar, produzir, refinar e estabilizar os fenômenos” (p. 13). Ele frisa que a relação entre hipótese e experimentação é peculiar e dependente de cada estágio do desenvolvimento da ciência. O confronto entre o que se idealiza e o que realmente se realiza se interligam (RAICIK; PEDUZZI, 2015). Isso significa que, além de carregadas de teorias, as experiências estão carregadas de prática; uma prática que envolve observações enquanto ações (PAIXÃO, 2003).

Nesse novo percurso experimental, certas concepções apresentadas pelo filósofo Francis Bacon (1561-1626) foram e estão sendo resgatadas. A *experientia literata* (Bacon, 1882) – experiência instruída – está trazendo nos últimos anos discussões interessantes acerca das distintas funções que a experimentação pode assumir na ciência e evidenciando algumas lacunas e incógnitas para a plena compreensão da sua filosofia (GEORGESCU, 2011; GEORGESCU; GIURGEA, 2012; GIGLIONE, 2013; JALOBEANU, 2011, 2013, 2016; OLIVEIRA, 2010; RAICIK, sem ano; WEEKS, 2008).

¹⁷ O termo teoria é utilizado, neste artigo, como sinônimo de hipótese, assim como ocorre com frequência nas obras aqui citadas.

Hacking (2012) salienta que na ciência “é preciso ‘torcer o rabo do leão’, ou seja, manipular o mundo, de forma a desvendar seus segredos” (p. 235), fazendo alusão às palavras baconianas. Um dos ensinamentos de Bacon foi o de justamente recomendar que se experimentasse de modo a “sacudir as dobras da natureza” (p. 350). É certo que Bacon não valorizou, adequadamente, o papel das hipóteses, da especulação, nem da matemática, mas nem toda crítica filosófica indutivista concebida a ele, que como Hacking diz o maltratam, condizem com sua construção filosófica. A sua indução, diferentemente daquela sustentada pelo aristotelismo, fútil e pueril, pratica a seleção orientada e contínua dos casos para a formulação de enunciados gerais (CARRILHO, 1994). Em síntese, Hacking (2012) afirma que “ele podia prever que a nova ciência seria uma aliança entre habilidades teóricas e experimentais” (p. 350) e nesse sentido Bacon estaria respondendo a uma “questão de Paul Feyerabend: O que há de tão especial a respeito de ciência?” (p. 58).

A noção de experimento crucial, cuja origem remete à ideia de *instantias crucis* abordada por Bacon no *Novum Organum* (1620), também propicia profícuas reflexões, uma vez que ela denota distintas interpretações que não reúnem consenso. Hacking (2012) salientou que apesar de Bacon não ter feito nenhuma contribuição para o conhecimento científico, o “conceito” de experimento crucial foi uma de suas ideias metodológicas mais importantes. Todavia, “a filosofia da ciência mais tardia fez dos experimentos cruciais experimentos absolutamente decisivos” (p. 353), e isto não é compatível com o próprio relato de Bacon sobre eles. Não obstante, o significado atribuído ao experimento (ou à instância) crucial tanto no início do período moderno, por estudiosos como Robert Hooke, Isaac Newton, Robert Boyle, Luigi Galvani, Alessandro Volta e outros, quanto mais adiante, por filósofos como Pierre Duhem (1861-1916), Popper, Lakatos, evidencia que o seu conceito não possui uma história contínua.

No ensino de ciências, seja por meio de professores e/ou materiais didáticos e paradidáticos utilizados em sala de aula, ainda persiste a ideia de que existem experimentos cruciais na ciência – entendidos como definidores e incontestáveis – suficientes para, por exemplo, dirimir debates fervorosos (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000; CUPANI; PIETROCOLA, 2002; HODSON, 1988; SCHMIEDECKE; PORTO, 2015; SILVA, 2010). A noção de que “um” experimento pode fazer com que uma hipótese seja rejeitada e outra aceita com base somente na evidência empírica produzida, ignora e negligencia distintos aspectos (filosóficos, históricos, políticos, sociais, subjetivos) que influenciam fortemente a tomada de decisões na ciência. Os experimentos, ainda que relevantes, são apenas um dos distintos

elementos que motivam as escolhas teóricas na ciência, que dependem de valores específicos dos sujeitos ou de uma comunidade, como bem salienta Kuhn (2011).

Nessa perspectiva, este artigo visa discorrer sobre a noção baconiana de *instantia crucis* e apresentar discussões acerca dos experimentos cruciais tanto por estudiosos como Newton, quanto por filósofos como Duhem, Popper e Lakatos. Nesse percurso, faz-se, sucintamente, contrapontos com a concepção de Bacon. Posteriormente, busca-se apontar reflexões para o ensino de ciências.

2.2 INSTANTIAS CRUCIS: A ENCRUZILHADA DE BACON

No livro II do *Novum Organum* (1620), Bacon discorreu sobre vinte e sete instâncias prerrogativas¹⁸ que faziam parte do seu método experimental. Após cumprir o que ele denominou de *Primeira Vindima*¹⁹, processo composto pelo desenvolvimento de tábuas e mecanismos complementares, o investigador deveria recorrer às técnicas auxiliares da indução. Ele enumerou várias delas, a retificação da indução, a variação da investigação segundo a natureza do assunto, as prerrogativas da natureza, os limites da investigação, a dedução e a prática, os preparativos para a investigação, a escala ascendente e descendente dos axiomas e as instâncias prerrogativas (Bacon, 1979, II, XXI, p. 134), sendo apenas esta última discutida em sua obra.

De acordo com Dimitru (2004) há, na literatura secundária, distintas interpretações acerca da função das instâncias prerrogativas. A historiadora Lisa Jardine, por exemplo, as compara com a *experientia literata*²⁰. Ela argumenta que ambas são uma espécie de “programa ad-hoc para derivar preceitos úteis de um tipo de regra e orientações para futuras operações sem recurso às formas²¹ e princípios” (DUMITRU, 2013, p. 47). Logo, admite que tanto as

¹⁸Instâncias solitárias, migrantes, ostensivas, clandestinas, constitutivas, conformes, monádicas, desviantes, limitativas, da potestade, de acompanhamento e hostis, subjuntivas, de aliança, cruciais, de divórcio, da porta, de citação, do caminho, suplementares, secantes, da vara, do currículo, de dose da natureza, de luta, indicadoras, policrestas e, por fim, mágicas.

¹⁹ A *Primeira Vindima* consistiria de axiomas inicialmente coletados que podem ser chamados de hipóteses provisórias. Isto é, “suposições que sugerem experimentos ou observações que, por sua vez, irão reafirmá-las ou corrigi-las, indicando e designando novos fatos e, por esta via, tornando ativas as ciências” (Oliveira, 2010, p. 183).

²⁰ A experiência instruída teria duas funções principais na investigação da natureza: i) gerar experimentos lucíferos (luminosos) – cuja função permite a descoberta das causas e dos princípios; ii) preparar a mente para o trabalho de interpretação (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017).

²¹ Formas nada mais são do que as leis da natureza (HORTON, 1973).

instâncias prerrogativas quanto a experiência instruída têm um papel na montagem eficaz da história natural e experimental, que fornece o material da indução.

Por certo, as instâncias prerrogativas podem ser entendidas, de modo geral, como observações notáveis (HACKING, 2012) ou, mais especificamente, como “fatores que, por sua singularidade, forçam a investigação num certo sentido” (ANDRADE, 1979, p. XVIII). Algumas das instâncias são observações pré-teóricas, outras são motivadas pelo desejo de testar teorias, outras tantas são realizadas por intermédio de dispositivos que auxiliam os sentidos (HACKING, 2012). Além disso, elas podem ser distinguidas em dois grupos: um com ênfase na parte informativa da filosofia baconiana e outro referente às suas operações ou práticas (BACON, 1979).

A *instantia crucis*²², décima quarta instância prerrogativa apresentada, pertence à classe informativa e, juntamente com a instância de divórcio, preserva o intelecto das “formas e causas falsas” (BACON, 1979, II, LII, p. 230). Literalmente, ela pode ser traduzida como “instância de encruzilhada”, uma vez que Bacon tomou o termo por referência/analogia as cruzes que se colocam nas estradas para indicar bifurcações.

Quando, na investigação de uma natureza²³, o intelecto se acha inseguro e em vias de se decidir entre duas ou mais naturezas que se devem atribuir à causa da natureza examinada, em vista do concurso frequente e comum de mais naturezas, em tais situações, as instâncias cruciais indicam que o vínculo de uma dessas naturezas com a natureza dada é constante e indissolúvel, enquanto o das outras é variável e dissociável. A questão é resolvida e é aceita como causa da primeira natureza, enquanto as demais são afastadas e repudiadas (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 161).

Em outras palavras, quando duas (ou mais) causas parecem responder igualmente bem a uma determinada natureza, faz-se necessário encontrar um fato que pode ser explicado, somente, por uma delas. Isso implica que as instâncias cruciais podem apresentar tanto a função de refutar algumas explicações quanto a de confirmar uma das causas (DUMITRU, 2013). Efetivamente, elas “são muito esclarecedoras e têm uma significativa autoridade. Muitas vezes, nelas termina o curso da investigação ou em muitas outras este é por elas completado” (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 161).

No aforismo XXXVI, do livro II do *Novum Organum*, há distintos exemplos que elucidam o conceito de instância crucial. Um deles refere-se à natureza do peso e da gravidade. Inicialmente, são apresentadas duas hipóteses em relação aos corpos pesados: i) eles tendem,

²² Como o próprio Bacon ressaltou, elas podem ser chamadas de “instâncias decisivas e judiciais e, em alguns casos, de instâncias de oráculo e mandato” (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 161).

²³ O termo na natureza, para Bacon, “significa ou equivale à propriedade ou qualidade predicável de um corpo” (ANDRADE, 1979, p. 93).

por natureza, ao centro da Terra; ii) são atraídos e arrastados pela força da própria massa terrestre. Assumindo que a segunda conjectura seja verdadeira, prossegue-se admitindo que quanto mais próximos os graves (corpos) se encontram da Terra, maiores serão a força e o ímpeto com que são impelidos a ela. No processo antagônico, mais fraca e lenta se torna essa força. Isso posto, Bacon propõe um experimento que consiste, primeiramente, na sincronização de dois relógios – um movido por contrapeso de chumbo e o outro por compressão de uma mola de ferro – e, em seguida, na verificação de seus movimentos, sendo que um encontra-se no ápice de um templo altíssimo e outro na sua base. A princípio, o relógio colocado no alto deveria se mover "mais lentamente em virtude da menor "força de gravidade"²⁴. Para não obter resultados precipitados, Bacon ressaltou que:

A experiência deve [deveria] ser repetida com a colocação do relógio nas profundezas de alguma mina situada muito abaixo da superfície da terra, para ser verificado se ele se move mais velozmente que antes, em razão de maior força de atração. Se se verificar que efetivamente o peso dos corpos diminui com a sua colocação no alto e que aumenta embaixo, quando mais próximos do centro da terra, então estará estabelecido que a causa do peso é a atração da massa terrestre (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 166).

Este experimento poderia ser, como dito por Bacon, uma instância crucial. Muitas dessas instâncias, como ele afirmou, "são buscadas, aplicadas intencionalmente e estabelecidas com trabalho árduo e diligente" (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 161), ou seja, não são fornecidas pela natureza, como o exemplo aludido. Esse experimento serviria, a princípio, para confirmar a segunda hipótese e, conseqüentemente, refutar a anterior. Todavia, apesar de ser uma "ideia maravilhosa", ela era impraticável naquela época. Assim, no final, a instância serviria para reafirmar a teoria aristotélica de movimento natural²⁵. "Entretanto, o fato de que, nesse caso, o experimento nos levaria à estrada errada não preocuparia Bacon: ele jamais disse que os experimentos cruciais precisam dar fim à tarefa da interpretação" (HACKING, 2012, p. 354).

Em outro exemplo, Bacon salientou que uma causa da instância crucial pode ser duvidosa e, desta forma, fazer com que a investigação tenha que prosseguir. Ao discorrer sobre a natureza da polaridade de uma agulha de ferro quando tocada por um magneto, ele diz que sua explicação se bifurca na seguinte ordem: i) o magneto comunica à agulha a capacidade de se voltar para o polo; ii) a agulha é excitada pelo magneto, mas o movimento em si, é causado pela presença da Terra. A segunda hipótese foi afirmada por Willian Gilbert que considerou a Terra uma grande esfera magnética. Bacon sugeriu, assim, uma instância crucial que consiste

²⁴ Expressão utilizada por Bacon (1979).

²⁵ Peduzzi, 2015.

em analisar os polos de um magneto esférico, em analogia com a Terra, quando sobre ele for colocado uma agulha não imantada e ali mantida por vários dias. Sendo que os polos da agulha passam a ser os mesmos que os do magneto, cabe analisar o comportamento dela quando tirada do magneto. Se ela se voltar na direção do eixo da Terra subitamente ou pouco a pouco, a causa é a presença da Terra. Do contrário, “considere-se a causa como duvidosa e prossiga-se na investigação” (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 167).

Nesse exemplo, caso se constate a causa pela presença da Terra, tem-se a função da instância de confirmação. No entanto, se não for verificado isso, novos caminhos devem ser abertos e percorridos. Afinal, “mesmo aqueles que acabam tomando a estrada errada, em virtude de um equívoco dos postes de sinalização, podem sempre retraçar seus [sic] passos” (HACKING, 2012, p. 354-355).

Com efeito, as instâncias cruciais exigem o desenvolvimento de experimentos luminosos, isto é, aqueles que são necessários para a descoberta de causas e princípios (WEEKS, 2008). É importante destacar, também, que elas são decisivas apenas às vezes (HACKING, 2012). Afinal, nenhuma coleta de casos, mesmo que possua caráter confirmador, propicia uma conclusão definitiva, “pois esta está sempre vulnerável ao perigo do confronto com uma instância contraditória” (SILVA, 2008, p. 14).

Após a publicação do *Novum Organum*, o termo passou a ser utilizado – com a variação de *instantia* para *experimentum* –, com apelo retórico ou não, por alguns estudiosos que parecem fazer alusão aos princípios baconianos que, fortemente, passaram a guiar os passos da ciência moderna.

2.3 EMPREGO DO TERMO *EXPERIMENTUM CRUCIS* NO INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA: OS ESTUDOS DE NEWTON SOBRE LUZ E CORES

No final do século XVII, houve uma nova tendência na escrita dos estudos desenvolvidos na ciência e Boyle pode ser considerado um dos principais defensores da “nova filosofia”, tendo continuado o legado de Bacon (SARGENT, 1989). A influência baconiana é notória em sua obra. Em 1662, em *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air*, ele parece ter usado pela primeira vez o termo *experimentum crucis*.

Boyle utilizou a expressão para um experimento que envolvia a explicação do comportamento do mercúrio em tubos de Torricelli nos altos e nos pés das colinas (BOYLE, 1662). Assim, ele salientou que os fenômenos observados nos tubos deveriam ser explicados

pela pressão atmosférica ou por uma espécie de resistência ao vácuo. Essa segunda hipótese era defendida pelo jesuíta Franciscus Linus que tinha aversão ao vazio e admitia que a “suspensão do mercúrio dar-se-ia por conta da atração produzida por ar rarefeito ou sutil que se infiltraria e preencheria o espaço deixado pelo mercúrio” no tubo (RIBEIRO, 2006). Apenas um experimento, que mostrasse um efeito explicado por apenas uma teoria, deveria ser buscado (DUMITRU, 2013).

E tal *Experimentum Crucis* (para falar como nosso ilustre Verulam²⁶) é concebido pela nobre observação de M. Paschal, mencionada pelo famoso Pecquet, e fora dele pelo nosso autor: a saber, que a experiência de Torricelli, realizada ao pé e em diferentes partes de uma montanha alta (de altitude de quinhentas braças ou três mil pés) [equivalente a aproximadamente 1000m], depois de ter subido cento e cinquenta braças [~330m], o mercúrio caiu duas polegadas e um quarto abaixo de sua posição ao pé da montanha; e que no topo da colina havia descido acima de três polegadas (BOYLE, 1662, p. 48-49).

A hipótese de Linus não poderia dar conta de explicar o que ocorreu, enquanto a outra previa exatamente esse efeito. Boyle, utilizou assim o experimento crucial com a função demonstrativa. Reside aqui “um exemplo quase perfeito de uma instância crucial de Bacon” (DUMITRU, 2013, p. 55).

Robert Hooke também adotou o adjetivo crucial a uma de suas experiências apresentada na *Micrographia*, publicada em 1665. Ao que parece ele provavelmente teria escrito a palavra errada; por escrever de memória substituiu *instantie* por *experimentum* (SILVA; MARTINS, 1996). Todavia, como ressaltado anteriormente, as instâncias de Bacon poderiam se referir a experiências e/ou observações de distintas ordens. Assim, Hooke pode ter intencionalmente escrito *experimentum*, modificando o termo, mas mantendo a essência da ideia baconiana – ao menos do seu ponto de vista; assim como fez Boyle.

Discorrendo sobre o fenômeno das cores que apareciam quando a luz penetrava diferentes tipos de lâminas transparentes delgadas, Hooke salientou que:

(...) acima de tudo, o que é mais observável, é que aqui estão todos os tipos de cores geradas em um corpo transparente, onde não há propriamente nenhuma refração como Descartes²⁷ supõe (...) Esta Experiência, portanto, vai provar tal como o nosso três vezes [thrice] excelente Verulam chamou um Experimentum Crucis, servindo como um guia ou marco divisório, pelo qual direciona nosso curso na busca da verdadeira causa das cores (HOOKE, 1665, p. 54).

²⁶ Boyle se refere a Bacon, cujo título de Barão de Verulam lhe foi atribuído.

²⁷ “A lei da refração da luz foi descoberta pelo físico holandês Willebrord Snell entre 1621 e 1625. Contudo, não se sabe exatamente quando isso ocorreu e nem como ele procedeu, pois o manuscrito em que descreveu esse resultado foi perdido (...). A lei que estabelece que a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é constante para um dado par de meios foi demonstrada formalmente por René Descartes em sua ‘Dióptrica’” (PEDUZZI, 2015, p. 56).

Conforme destacou Dimitru (2004), embora tenha tido a função de refutação (ao que se refere a teoria de Descartes) a experiência de Hooke não ofereceu subsídios para confirmar uma teoria alternativa; ela não existia. Para além disso, ela serviu para o desenvolvimento da sua própria teoria.

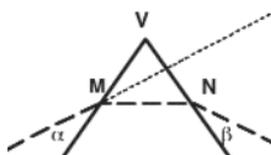
Newton parece ter sido influenciado pela expressão usada por Hooke em sua obra. Todavia, ele teria utilizado o termo *experimentum crucis* com apelo retórico, em homenagem a Bacon (GRANÉS, 2001). Ou, ainda, escrito para conferir maior credibilidade em uma cultura que primava pelo apelo experimental. Algumas passagens de seus trabalhos podem indicar, não obstante, que ele denominou um de seus principais experimentos de crucial com Descartes e Hooke em sua mente (WESTFALL, 1962). “Hooke explicitamente desafiou o *status* epistêmico da teoria de Newton: ‘não posso pensar que ela seja a única hipótese’” (ZEMPLER; DEMETER, 2010, p. 645).

Em seu artigo “Nova Teoria sobre Luz e Cores”, publicado em 1672, Newton explicou o fenômeno da formação das cores devido à refração (COHEN; WESTFALL, 2002; GRANÉS, 2001; 2005; SILVA; MARTINS, 1996). Uma de suas experiências, que instigou o desenvolvimento de diversas outras, inclusive a crucial, foi assim descrita por ele:

(...) tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno orifício na veneziana de minha janela, para admitir a entrada de uma quantidade conveniente de luz solar, coloquei meu prisma à entrada dele, para que a luz fosse refratada para a parede oposta. A princípio, foi uma diversão muito agradável observar as cores vívidas e intensas assim produzidas, mas, depois de algum tempo empenhando-me em examiná-las com maior circunspeção, surpreendeu-me vê-las em uma forma oblonga, porquanto, segundo as leis aceitas da refração, eu esperava que ela fosse circular (NEWTON, 1672, p. 3076; SILVA; MARTINS, 1996, p. 315).

Os experimentos decorrentes envolveram a busca incessante de Newton pela explicação da forma oblonga, sem que fosse preciso abandonar a lei da refração de Descartes – que admitia que o raio incidente e o raio refratado que saem de um prisma se comportam de maneira simétrica na posição de desvio mínimo²⁸ do prisma. Inicialmente, ele passou a

²⁸ “De acordo com a lei cartesiana de refração, para o caso de a luz incidente ter um único índice de refração, há uma posição do prisma que produz uma imagem circular. É a chamada ‘posição de desvio mínimo’. Quando o prisma está ajustado nessa posição, pequenas rotações ao redor de seu eixo não produzem mudanças na direção dos raios emergentes e o ângulo de desvio (ângulo formado entre os raios incidentes e emergentes é mínimo” (SILVA, 2006, p. 12). A figura abaixo, extraída de Silva e Martins (2003), mostra a posição de desvio mínimo, em que $\alpha = \beta$.



averiguar distintas hipóteses que poderiam produzir o alongamento do espectro. Newton admitiu que a causa do problema poderia estar nos componentes de seu experimento, em uma possível irregularidade no vidro ou ainda a uma falta de paralelismo do feixe de luz proveniente do Sol que penetra o orifício da persiana, devido ao tamanho do astro e à sua distância finita da Terra. Mas todas estas conjecturas se mostraram infrutíferas.

A verificação da não procedência dessas hipóteses levou Newton, então, ao seu famoso experimento: “a eliminação gradual dessas suspeitas finalmente levou-me ao Experimentum Crucis” (NEWTON, 1672, p. 3078). Em síntese, o experimento era composto de uma lente à frente de um prisma, pela qual passava a luz solar. A lente possibilitava produzir um espectro fino e com cores bem definidas em um anteparo. Um furo no anteparo permitia que uma pequena faixa do espectro passasse por um segundo prisma, que não decompunha a luz em novas cores, apenas produzia uma mancha da cor selecionada.

De acordo com Bacon, a *instantia crucis* demandava, sobretudo, um experimento cuidadosamente planejado, mas não qualquer experimento. Os designados luminosos, que objetivavam encontrar as causas dos fenômenos investigados, deveriam ser realizados e priorizados. Bacon, em conclusão à descrição das instâncias cruciais, afirma que elas “foram tratadas um pouco longamente para, aos poucos, habituar a mente humana a julgar por seus próprios meios e segundo experimentos lucíferos, e não a partir de razões prováveis” (BACON, 1799, II, XXXVI, p. 171). Isso parece ter sido o que Newton fez. Granés (2001), por exemplo, classifica esse experimento como luminoso.

A princípio, “apresentar o experimentum crucis como uma instância de descobrimento em lugar de uma instância de corroboração é, por parte de Newton, uma hábil concessão retórica ao espírito baconiano que primava na Royal Society” (GRANÉS, 2001, p. 38). Não obstante, durante as discussões com os críticos, o discurso newtoniano se altera. Muitos estudiosos alegaram que, ao tentar reproduzir o famoso experimento, não obtiveram os mesmos resultados encontrados por Newton. Aliás, alguns estavam propondo experimentos que contrariavam as conclusões dele (SILVA; MARTINS, 1996). Embora o experimento tenha sido apresentado como suficiente para concluir que a luz solar é heterogênea, não era possível argumentar isso somente a partir dele, pois existiam outras explicações possíveis. A luz branca poderia ser de alguma forma transformada ou, ainda, poderia se aferir que o prisma criava as cores²⁹.

²⁹ Robert Hooke, Christiaan Huygens, Ignatius Pardies, Anthony Lucas e Francis Linus, a título de exemplo, criticam fortemente a ideia de heterogeneidade da luz branca e questionam os próprios experimentos apresentados por Newton (GRANÉS, 2001; SILVA; MARTINS, 1996; MOURA, 2008).

Dessa maneira, não foi um único experimento, mas um conjunto³⁰ deles que permitiu estabelecer que os raios de luz possuíam propriedades intrínsecas, que não podiam ser modificadas por refrações, responsáveis pela produção de cores. As variantes do experimento crucial mostravam, ainda, de forma concludente, que a cada raio que produzia uma cor se associa um grau específico de refringência e vice-versa (ASSIS, 2002). Antagonicamente à concepção boyleana, Newton afirmou que a demonstração de um único experimento, bem julgado, poderia suprir a reiteração de um grande número de experimentos. Isso é condizente, em parte, com a ideia de *instantia crucis*. Um experimento poderia direcionar o caminho, quando mais de uma via se apresentasse. Embora o argumento de Newton possa induzir à ideia da existência de um experimento único com o qual se apresenta algo de forma indiscutível e decisivo, os seus estudos evidenciam a realização de uma gama de experimentos que, dialogados com diversas hipóteses, distanciam-no fortemente de um empirista absolutamente indutivista. Logo, em termos baconianos, seu *experimentum crucis* parece não ter sido, de fato, tão crucial assim.

Por certo, a *instantia crucis*, normalmente (e de forma geral) traduzida como “experimento crucial”, a partir da utilização do termo por Boyle, Hooke e sobretudo por Newton, serviu de inspiração para distintas discussões no âmbito da filosofia da ciência. Não obstante, os séculos XIX e XX parecem tê-lo resgatado com o caráter puramente definidor, e não também com o sentido de descoberta ou invento, como conceitualizado por Bacon (AMARO, 2009).

2.4 EXPERIMENTOS CRUCIAIS: INCONSONÂNCIAS NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA

A noção de Bacon de *instantia crucis* foi retomada, em termos, por alguns filósofos da ciência que, com distintas concepções, distanciam-se mais ou menos da ideologia baconiana. De acordo com Hacking (2012) a visão mais comum que se tem sobre os experimentos cruciais é que eles favorecem apenas uma teoria, quando há duas (ou mais) em competição. Todavia, há posturas filosóficas que assumem, por exemplo, que eles existem apenas em retrospectiva ou, ainda, que nem podem existir.

Duhem foi um físico, historiador e filósofo da ciência que argumentou a inexistência de experimentos cruciais. Analisando a ciência em sua contemporaneidade ele salientou sem, contudo, concordar que:

³⁰ Os experimentos variantes são explicitados, comentados e ilustrados na “Óptica” (NEWTON, 2002).

Queremos obter de um grupo de fenômenos uma explicação teórica certa e incontestável? Enumerem-se todas as hipóteses que é possível fazer-se para dar conta desse grupo de fenômenos; depois, pela contradição experimental, eliminem-se todas, salvo uma. Esta última deixará de ser uma hipótese para tornar-se uma certeza. Suponha-se, em particular, que apenas duas hipóteses estejam presentes. Procurem-se as condições experimentais tais que uma das hipóteses anuncie a produção de um fenômeno e a outra um fenômeno completamente diferente e realizem-se essas condições observando o que acontece. Conforme seja observado o primeiro dos fenômenos previstos ou o segundo, condenar-se-á a segunda hipótese ou a primeira; aquela que não for condenada será, de agora em diante, incontestável. O debate estará resolvido, uma verdade nova será adquirida pela física. Este é o teste experimental que o autor do *Novum Organum* chamou de fato crucial, tomando essa expressão das cruzes que em uma interseção indicam vários caminhos (DUHEM, 1984, p. 555).

Duhem contestou, contundentemente, essa metodologia que utilizava a redução ao absurdo³¹ (*reductio ad absurdum*) para a edificação de verdades na ciência. Na geometria, esse método era adotado na refutação, porém na física passou a ser empregado como meio de demonstração (AMARO, 2009). A contradição experimental – a refutação –, conforme ele argumentou, não era capaz de transformar uma hipótese em uma verdade indiscutível, a menos que se enumerasse as diversas hipóteses que envolvem um determinado grupo de fenômenos, mas isso não é possível. Um “físico nunca está seguro de ter esgotado todas as hipóteses imagináveis. A verdade de uma teoria física não se decide no cara ou coroa” (DUHEM, 1984, p. 556).

Um teste empírico não é uma resolução definitiva. Não é possível confirmar ou refutar hipóteses ou teorias em separado; elas não comparecem ao tribunal da experiência isoladamente, mas sempre em conjunto (FREIRE JR., 2013). Isto é, em cada teste não é só a teoria sob investigação que está envolvida, mas também todo um sistema de concepções e premissas teóricas. Quase sempre é possível remendar uma teoria com hipóteses auxiliares. Ademais, quando se testa uma hipótese, pode-se, também, salvar outra através da revisão de alguma hipótese auxiliar conectada ao método de testagem (HACKING, 2012).

Entre dois teoremas de Geometria contraditórios entre si, não há lugar para uma terceira alternativa. Se um é falso, o outro é necessariamente verdadeiro. Duas hipóteses físicas formam, alguma vez, um dilema tão rigoroso? Ousaríamos dizer que jamais uma outra hipótese poderá ser imaginada? (DUHEM, 2014, p. 231).

Consequentemente, Duhem afirmou não ser possível a existência de experimentos cruciais na ciência (CASSINI, 2015). Novas descobertas e interpretações podem sempre ser

³¹ “O método de redução ao absurdo consiste inicialmente em admitir como verdadeira a negação de determinada afirmação e continuando-se o processo de demonstração observa-se, como consequência, o surgimento de uma contradição, o que torna a negação da hipótese inicial um absurdo” (GALVÃO; SANTOS; BARBOSA, 2016, p. 1).

formuladas, à luz de distintas concepções teóricas. Desta forma, reconhece-se o caráter conjectural dos resultados produzidos em uma pesquisa. Cabe ressaltar, no entanto, que Bacon não buscava, com a instância crucial, uma prova ou explicação incontroversa e indubitável, afinal, sempre é possível ter-se uma instância contraditória. Ou, ainda, pode-se tomar a estrada errada e, desta forma, ser necessário voltar-se novamente às sinalizações e tomar outro caminho (HACKING, 2012).

Em dessemelhança à Duhem, o filósofo Popper considerou os experimentos cruciais fundamentais no processo avaliativo das teorias científicas. Eles serviriam, não simplesmente para corroborar teorias, admitindo-as como válidas, mas para testá-las a fim de comprovar sua qualidade (RUFATTO; CARNEIRO, 2009). Popper afirmou:

Procuramos escolher para nossos testes os casos cruciais (...) no sentido baconiano; indicam encruzilhadas entre teorias. “Mas, enquanto Bacon acreditava que uma experiência crucial poderia demonstrar ou verificar uma teoria, diremos que ela pode na melhor das hipóteses refutá-la (POPPER, 1982, p. 139).

Com efeito, ele definiu o experimento crucial como algo que “é projetado para refutar uma teoria (se possível) e mais especialmente um [experimento] que é concebido para produzir uma decisão entre duas teorias concorrentes, refutando (ao menos) uma delas – sem, é claro, provar a outra” (POPPER, 1959, p. 277).

Cabe ressaltar que Bacon admitiu a função de refutação da instância crucial, como visto em alguns de seus exemplos. Ele reconheceu que resultados negativos são mais poderosos que os positivos (OLIVA, 2007). Popper, no entanto, parece não ter identificado isto na obra do filósofo.

De qualquer forma, Popper tem compreensão das críticas de se atribuir a um experimento crucial a característica de ser decisivo para a refutação de uma teoria. Afinal, a história da ciência evidencia que isso não é compatível com o que, de fato, ocorre na escolha teórica. “Poder-se-ia objetar a concepção desenvolvida aqui – de acordo com Duhem – que em cada teste não é só a teoria sob investigação que está envolvida, mas também todo o sistema de nossas teorias e premissas” (POPPER, 1982, p. 139). Nesse sentido, Popper relativizou a questão da falsificação. Passou a conferir caráter empírico aos enunciados básicos (não somente a “sistemas” teóricos), sujeitando-os ao teste crucial. “Assim, a falseabilidade de teorias, o eixo central de sua epistemologia, em termos metodológicos, deveria ser operacionalizado pela busca da falsificação de enunciados singulares” (PERES, 2002, p. 17).

De fato, só pelas tentativas de refutação pode a ciência ter esperança no progresso. Só pelo exame de como suas várias teorias respondem à experimentação podemos

distinguir entre as teorias melhores e as menos boas, e encontrar um critério de progresso científico (POPPER, 1982, p. 141).

Efetivamente, Popper identificou o desenvolvimento do conhecimento científico como algo enérgico, onde persiste (e deve persistir) uma dinâmica permanente de testes cruciais, já que uma verdade absoluta não pode ser alcançada (PERES, 2002).

Lakatos, físico, matemático e filósofo, discordou de Popper, Duhem e, também, divergiu da concepção baconiana. Para ele, o mito de um experimento crucial, que refuta definitivamente uma teoria, deveria ser abandonado. “As ‘experiências cruciais’ no sentido de Popper não existem: no melhor dos casos elas são títulos honoríficos atribuídos a certas anomalias muito tempo depois do acontecimento, quando um programa³² foi derrotado por outro” (Lakatos, 1978, p. 163).

Em seus escritos, Lakatos tece críticas pontuais à concepção de Popper³³. Enquanto que, para Lakatos, o adjetivo “crucial” poderia ser empregado ao experimento que tivesse a capacidade de prever fatos novos e desconhecidos, para Popper ele estaria pautado em anomalias (NICKELS, 1999). Contudo, “nenhuma dessas anomalias, chamadas de ‘experimentos cruciais’ ou não, são objetivamente cruciais” (LAKATOS, 1987, p. 285). Estritamente elas podem ter, no máximo, um efeito ocioso sobre a imaginação e a determinação dos estudiosos (LAKATOS, 1987). Conforme ele explicitou, diferindo novamente de uma visão mais simplista da filosofia popperiana, nenhum enunciado básico é capaz de rejeitar uma teoria. “Nenhum experimento isolado pode desempenhar um papel decisivo, muito menos ‘crucial’, para fazer inclinar a balança entre programas rivais de investigação” (LAKATOS, 1987, p. 284-285). Neste sentido, só pode haver o abandono de uma série de teorias interligadas, e não de uma teoria individual. Não se aprende, aceitando ou rejeitando uma única teoria, mas comparando um programa de pesquisa com o outro, para o progresso teórico, empírico e heurístico (LAKATOS, 1974).

³² “Um programa de pesquisa constitui-se de um núcleo firme (conjunto de hipóteses ou teoria irrefutável por decisão dos cientistas), de uma heurística que instrui os cientistas a modificar o cinturão protetor (conjunto de hipóteses auxiliares e métodos observacionais) de modo a adequar o programa aos fatos” (SILVEIRA, 1996, p. 219).

³³ Lakatos distingue três Poppers: o falseacionista dogmático – um mito inventado; o falseacionista ingênuo; o falseacionista sofisticado. O autor defende que o verdadeiro Popper é uma junção de um falseacionista ingênuo com elementos de um sofisticado. Lakatos justifica isso afirmando que “o verdadeiro Popper nunca abandonou suas primeiras (ingênuas) regras de falseamento. Ele tem exigido, até o presente, que ‘se estabeleçam de antemão os critérios de refutação: urge que haja consenso em torno das situações observáveis, se realmente observadas, que significam que a teoria está refutada’. Ele ainda interpreta ‘falseamento’ como resultado de um duelo entre a teoria e a observação, sem que outra teoria melhor esteja necessariamente envolvida. O verdadeiro Popper nunca explicou circunstanciadamente o processo de apelação por cujo intermédio alguns ‘enunciados básicos aceitos’ podem ser eliminados” (LAKATOS, 1979, p. 225).

A concepção de Popper de conjecturas e refutações deveria, na perspectiva lakatosiana, ser abandonada. Afinal, sempre é possível progressivamente defender uma teoria durante um prolongado tempo. Assim, um experimento que contradiz um programa de pesquisa é visto, somente, como um desafio dentro de uma “batalha”. Mas a disputa não está encerrada: a qualquer programa de pesquisa é lícito sofrer alguns insucessos. A ele cabe, no entanto, a reabilitação. Todavia, se mesmo assim o programa for derrotado, então “a guerra estará perdida e a experiência original será vista, retrospectivamente, como tendo sido ‘crucial’” (LAKATOS, 1978, p. 195).

Em síntese, conforme o filósofo salientou:

Não existem experiências cruciais, pelo menos não existem se por elas entenderem experiências capazes de derrubar instantaneamente um programa de pesquisa. Com efeito, quando um programa de pesquisa sofre uma derrota e é suplantado por outro, podemos – numa longa visão retrospectiva – chamar crucial a uma experiência se se verificar que ela proporcionou uma corroboração espetacular do programa vitorioso e o fracasso do programa derrotado (no sentido de que nunca foi ‘explicada progressivamente’ – ou, numa palavra, ‘explicada’ – pelo programa derrotado) (LAKATOS, 1979, p. 214).

Todavia, a noção de experimentos cruciais em retrospectiva é um posicionamento antagônico daquele apresentado por Bacon (HACKING, 2012).

As concepções de Duhem, Popper e Lakatos, que discordam entre si, também colidem com aquela discutida por Bacon. A noção baconiana dá margem ao caráter decisivo da instância crucial. Contudo, o que Bacon entende por “decisivo” pode não consentir, plenamente ao menos, com a ideia de destituição imediata e inequívoca de uma teoria. Como o filósofo ressaltou, sobredito, as instâncias cruciais são elucidativas, fornecem luz em meio à sombra. Ainda assim, caberia ao investigador julgá-las.

De acordo com Cassini (2015), a caracterização dos experimentos cruciais pela filosofia da ciência dá margem, equivocadamente, à “confusão” entre experiências cruciais e decisivas. Como ele salientou, frequentemente, e Popper se inclui aqui, os experimentos cruciais são descritos como aqueles que permitem decidir ou tomar uma decisão entre teorias rivais; aceitando uma e rejeitando outra. No entanto, a falsificação ou refutação de uma teoria não significa que ela seja rejeitada por toda a comunidade. Nesse sentido, conforme o autor apontou, os experimentos decisivos poderiam ser aqueles que proporcionam indícios considerados suficientes e adequados para a aceitação ou a rejeição de uma teoria, e os cruciais aqueles que proporcionam evidência que permite contrastar duas ou mais teorias sem que isso implique, necessariamente, na aceitação/rejeição de alguma delas. Ao que parece, isso se assemelha com a concepção baconiana, que não admitia que os experimentos cruciais pudessem

(e precisassem), *sempre*, dar fim à tarefa de interpretação do investigador. “Mesmo sem serem muitas vezes efetivamente decisivos, o certo é que alguns experimentos, ou instâncias cruciais, são bastante esclarecedores, dirimindo dúvidas e apontando novos caminhos” (PEDUZZI, 2015, p. 100).

2.5 ENSINO DE CIÊNCIAS E EXPERIMENTOS CRUCIAIS: BARREIRAS A ENFRENTAR

Como se pôde ver, nas seções anteriores, o significado e a consideração da existência, ou não, de experimentos cruciais são relativos. Somente à luz de um referencial teórico é possível analisá-los ao longo da história da ciência. Os significados atribuídos ao termo diferem não só em crivos filosóficos, como na própria concepção dos estudiosos. Não é necessariamente verdade que Boyle ou Hooke, por exemplo, estavam utilizando a locução “experimento crucial” com o mesmo entendimento de Bacon, “embora seja mais do que provável que eles pensavam que estavam” (DUMITRI, 2004, p. 46).

Por certo, como salienta Lakatos, “nenhuma experiência é crucial na altura em que é realizada (exceto talvez psicologicamente)” (1978, p. 164). Isso implica que, onde alguns “cientistas” veem um experimento definidor e incontestável, outros podem não ver. Ademais, um experimento, por si mesmo, não é capaz de decidir, incontestavelmente, entre teorias; todo o contexto da descoberta, e não apenas o da justificação, precisa ser apreciado. “As escolhas que os cientistas fazem entre teorias rivais dependem não apenas de critérios compartilhados (...), mas também de fatores idiossincráticos relacionados à biografia e à personalidade individual” (KUHN, 2011, p. 349).

Essas considerações essenciais acerca de experimentos cruciais parecem inexistir no ensino de ciências. Como já apontava Hodson (1988), o ensino admite quase que tácita e acriticamente que os experimentos cruciais existem e podem estabelecer a “verdade” científica. É comum a ideia de que uma hipótese é aceita e, por consequência, outra é rejeitada, com base nos dados de um único experimento. Este é um pressuposto que realça a ideia de que evidências empíricas independentes de corpos teóricos de conhecimento existem. Todavia, os dados isoladamente não podem decidir ou gerar teorias. A experimentação é um processo complexo, contextual e dinâmico.

Como ressaltam Cupani e Pietrocola (2002), em análises de livros didáticos é fácil identificar visões limitadas da experimentação, como o mito do observador neutro, do

experimento crucial, da verdade absoluta das teorias. Nesse sentido, muitos estudantes acabam atribuindo ao experimento crucial o papel de validar uma teoria (SILVA, 2010). Cabe ressaltar, no entanto, que os livros estão buscando aprimorar a visão de ciência apresentada, ao menos as que são explícitas. O Guia do Livro Didático (PNLD, 2015) de física, tomou como um dos critérios de avaliação o pressuposto de que os livros trouxessem “uma visão de experimentação afinada com uma perspectiva investigativa, mediante a qual os jovens são levados a pensar a ciência como um campo de construção de conhecimento, onde se articulam, permanentemente, teoria e observação, pensamento e linguagem” (BRASIL, 2014, p. 16).

Não obstante, além de livros didáticos, o ensino está cada vez mais fazendo uso de programas televisivos, como filmes, séries e documentários. Mas eles também requerem cuidados historiográficos, uma vez que podem reforçar o mito do experimento crucial. Schmiedecke e Porto (2015), ao analisarem alguns episódios de materiais desse gênero, constataram características que intensificam concepções limitadas da experimentação e da própria ciência, como a ideia de experimentos cruciais, de cientistas “gênios” e do desenvolvimento sempre linear e acumulativo da ciência.

Assim, pode ser fecundo para um ensino que visa romper com a estereotipação da experimentação, refletir sobre os experimentos cruciais em uma perspectiva histórico-filosófica. A retomada de sua gênese, com Bacon, torna-se um caminho profícuo para isso. A relatividade de significados do termo, na história, evidencia que a ciência, sua análise e desenvolvimento não são algo estático, mas enérgico que, como o mar, às vezes se debruça em ondas de harmonia, por vezes em um maremoto de desconcertos. A ambiguidade existente na análise da importância e relevância de dados empíricos é algo a ser refletido também no ensino de ciências.

O papel crítico dos experimentos é um aspecto importante da ciência, mas as teorias somente são abandonadas quando existem evidências que obrigam a isso (que persistem por longo tempo e atingem o cerne fundamental da teoria) e/ou quando uma teoria alternativa e mais promissora se torna disponível. É enganoso apresentar aos alunos a ideia de que as teorias são abandonadas por causa de alguns “resultados negativos”. Na prática, todas as teorias têm que conviver com resultados anômalos; isto é uma característica natural da ciência. Enganamos os alunos quando fingimos que os tipos de experimentos que eles desenvolvem em classe constituem meios seguros de escolher entre teorias rivais (HODSON, 1988, p. 55-56).

Como salienta Steinle (2002), é possível apontar na filosofia baconiana, não deixando de reconhecer sua limitação diante de novas posturas epistemológicas, distintas funções epistêmicas da experimentação, incluindo sua noção de experimentos ‘cruciais’.

O estudo de controvérsias científicas também é uma das possibilidades para a inserção dessa temática. A análise do contexto da descoberta, da gênese e do desenvolvimento de uma controvérsia, e não apenas o seu contexto da justificativa, evidencia que distintas teorias podem ser originadas por meio de uma mesma experiência (KIPNIS, 2001). Ademais, a relevância de determinado experimento, para os estudiosos e para a própria ciência de uma determinada época e contexto, irá depender de diferentes perspectivas filosóficas, subjetivas, sociais, culturais.

Geralmente, em diferentes meios que divulgam a ciência e até mesmo na sala de aula, considera-se que o papel dos dados experimentais é crucial para a aceitação ou rejeição de uma teoria (NIAZ, 2010). Aliás, o tipo mais primitivo de racionalismo propôs que as controvérsias deveriam ser resolvidas por meio de experimentos cruciais (KITCHER, 2000). Contudo, isso está longe de ocorrer, sobretudo, porque, como ressalta Kuhn, as decisões fundamentais dos estudiosos são justificadas no sentido das escolhas feitas de acordo com valores específicos dos sujeitos ou de uma comunidade, no âmbito do paradigma no qual aderem. Ou seja,

alguns cientistas valorizam mais do que outros a originalidade, e por isso são mais propensos a assumir riscos. Alguns preferem teorias mais abrangentes e unificadas a soluções exatas e detalhadas dos problemas, mas de abrangência aparentemente menor (...) toda escolha individual entre teorias rivais depende de uma mescla de fatores objetivos e subjetivos, ou de critérios compartilhados e individuais (KUHN, 2011, p. 344-345).

Na perspectiva kuhniana, quando em um embate científico, os estudiosos lidam com argumentos teóricos e experimentais pertencentes a paradigmas distintos; que competem pela preferência dos membros da comunidade. Isto é, paradigmas rivais oferecem lentes conceituais diferentes, não são e não podem ser compatíveis. Há, a princípio, apenas uma comunicação parcial entre eles.

Admitindo-se teoricamente a incomensurabilidade dos paradigmas, ou seja, a falta de uma medida comum entre eles, então os experimentos (ditos) cruciais, para a escolha paradigmática, não seriam logicamente possíveis. A ‘comunicação’, ou ‘tradução’, embora difícil, existe, como mostra a praxis científica. Mesmo assim, o uso do termo ‘experimento crucial’, como uma instância inapelavelmente decisiva, particularmente quando se leva em conta o fator tempo, precisa ser bem ponderado, e justificado, para não ser abatido pela crítica contundente dos que a ele se opõem (PEDUZZI; RAICIK, 2017, p. 36-37).

Atrelada à noção dos experimentos cruciais distintas concepções relativas à Natureza da Ciência (PEDUZZI; RAICIK, 2017) podem ser discutidas e levadas à reflexão dos alunos, como a ideia de que não há observações neutras, que os dados, *per se*, não geram teorias, que a ciência é influenciada por perspectivas culturais, sociais, contextuais, filosóficas, religiosas, que a experimentação é parte integrante e essencial do processo de construção do conhecimento, que envolve o diálogo entre as expectativas e convicções teóricas do investigador e as

observações que ele realiza, etc. Essas reflexões tendem apenas a melhorar a visão de ciência que se espera e almeja que um aluno tenha para compreender esse vasto, rico e complexo campo de conhecimento.

Um resgate da noção de *instantia crucis* de Bacon permite que se contextualize, no ensino de ciências, as distintas compreensões de um experimento crucial e romper com a visão estereotipada de que uma “verdade” pode ser alcançada, um debate pode ser resolvido, um consenso atingido por meio de um experimento desse tipo. Além disso, essa discussão, inevitavelmente, propicia reflexões acerca do papel dos experimentos no desenvolvimento científico e sua dependência com o contexto em que se insere; histórico, cultural, epistemológico. Por fim, apesar de Bacon instituir uma concepção duramente empírico-indutivista, ele permitiu que a experimentação tivesse o seu lugar de destaque na ciência (RAICIK; PEDUZZI, 2016).

REFERÊNCIAS

- AMARO, A. J. G. **A crítica de Pierre Duhem ao experimento crucial** (Dissertação de Mestrado). Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2009.
- ANDRADE, J. A. Tradução e notas. In: F. Bacon, **Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza; Nova Atlântica**. São Paulo: Abril Cultural, 1979.
- ARTEAGA, E. G. G. **Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje: Aporte Histórico y filosófico en la física de campos** (Tese de doutorado). Universidade Autônoma de Barcelona, Barcelona, 2011.
- ASSIS, A. T. **Óptica: tradução, introdução e notas**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- BACON, F. Of the dignity and advancement of learning, books IV-IX. In: J. Spedding, R. L. Ellis & D. D. Heath (Ed.), **The Works of Francis Bacon** (13-345). Boston: Houghton, Mifflin and Company, 1882.
- BACON, F. **Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza; Nova Atlântica**. São Paulo: Abril Cultural, 1979.
- BOYLE, R. **A defence of the doctrine touching the spring and weight of the air**. London: Printed by F.G. for Thomas Robinson, 1662.
- BRASIL. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015; física: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2014.
- CARRILHO, M. M. **A filosofia das ciências de Bacon a Feyerabend**. Lisboa: Editorial Presença, 1994.

CARMO, L. A.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro de pás. In **Atas do VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física**. Florianópolis, SC, Brasil, 2000.

CASSINI, A. Una reivindicación de los experimentos cruciales. **Revista de Filosofia**, v. 40, n. 1, p. 105-137, 2015.

COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto EDUERJ, 2002.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. especial, p. cial), 100-125, 2002.

DUHEM, P. **A teoria física: seu objeto e sua estrutura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2014.

DUHEM, P. Teoria física y experimento. **Teorema**, v. 14, n. 3, p. 547- 582, 1984.

DUMITRU, C. Crucial Instances and Crucial Experiments in Bacon, Boyle, and Hooke. **Society and Politics**, v. 7, n. 1, p. 45-61, 2013.

FRANKLIN, A. **The neglect of experiment**. New York: Cambridge University Press, 1986.

GALVÃO, M. S.; SANTOS, L. A.; BARBOSA, J. P. C. Demonstrações por redução ao absurdo no volume I do Elementos de Euclides. Educação Matemática na Contemporaneidade: desafios e possibilidades. In **Atas do ENEM**. São Paulo, SP, Brasil, 2016.

GEORGESCU, L. A new form of knowledge: Experientia Literata. **Society and Politic**, v. 5, n. 2, p. 104-120, 2011.

GEORGESCU, L.; GIURGEA, M. Redefining the Role of Experiment in Bacon's Natural History: How Baconian was Descartes before Emerging from His Cocoon? **Early Science and Medicine**, v. 17, p. 158-180, 2012.

GIGLIONI, G. Learning to Read Nature: Francis Bacon's Notion of Experiential Literacy {Experientia Literata} **Early Science and Medicine**, v. 18, p. 405-434, 2013.

GOODING, D. C. Experiment. In: W. H. Newton-Smith, W.H. (Ed.), **A companion to the philosophy of science** (pp. 117-126). USA: Blackwell Companions to Philosophy, 2000.

GRANÉS, J. S. **La gramática de una controversia científica: El debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz**. Colombia: Editorial Unibiblos, 2001.

GRANÉS, J. S. **Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2005.

HACKING, I. Philosophers of Experiment. PSA: **The Philosophy of Science Association**, v. 2, p. 147-156, 1988.

HACKING, I. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, 1988.

HOOKE, R. **Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses**. London: J. Martyn and J. Allestry, 1665.

HORTON, M. In defence of Francis Bacon: a criticism of the critics of the inductive method. **Stud. Hist. Phil. Sci.**, v. 4, n. 3, p. 241- 278, 1973.

JALOBEANU, D. Core experiments, natural histories and the art of experientia literata: the meaning of baconian experimentation. **Society and Politics**, v. 5, n. 2, p. 88-103, 2011.

JALOBEANU, D. Learning from experiment: classification, Concept formation and modeling in Francis Bacon's experimental philosophy. **Rev. Roum. Philosophie**, v. 57, n. 2, p. 75-93, 2013.

JALOBEANU, D. Diciplining Experience: Francis Bacon's experimental series and the art of experimenting. **Perspectives on Science**, v. 24, n. 3, p. 324-342, 2016.

KIPNIS, N. Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. **Science & Education**, v. 10, p. 33-49, 2001.

KITCHER, P. Patterns of scientific controversies. In: P. Machamer, M. Pera & A. Baltas (Ed.), **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives** (pp. 3-17). New York: Oxford University Press, 2000.

KUHN, T. S. **A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Unesp, 2011.

LAKATOS, I. **Matemáticas, ciencia y epistemología**. Madrid: Alianza Editorial, 1987.

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: I. Lakatos & A. Musgrave (Ed.), **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento** (pp. 109-243). São Paulo: Editora Cultrix, 1979.

LAKATOS, I. **Falsificação e metodologia dos programas de investigação científica**. Portugal: Edições 70, 1978.

LAKATOS, I. The role of crucial experiments in science. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 4, n. 4, p. 344-355, 1974.

LEVINAS, M. L.; CARRETERO, M. Conceptual Change, Crucial Experiments and Auxilliary Hypotheses. **Integr Psych Behav**, v. 44, p. 288-298, 2010.

MOURA. B. A. **A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII: subsídios para discutir a Natureza da Ciência no Ensino** (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NEWTON, I. A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the

publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society”, **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 6, n. 80, p. 3075-3087, 1672.

NEWTON, I. **Óptica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

NIAZ, M. Science curriculum and teacher education: The role of presuppositions, contradictions, controversies and speculations vs Kuhn's 'normal Science. **Teaching and Teacher Education**, v. 26, p. 891-899, 2010.

NICKELS, U. T. Ciencia y Pseudociencia en Lakatos: La falsación del falsacionismo y la problemática de la demarcación. **Cinta Moebio**, v. 5, p. 51-60, 1999.

OLIVA, A. Há falibilismo em Bacon e Popper não reconhece isso. **Manuscrito – Rev. Int. Fil.**, v. 30, n. 1, p. 135-184, 2007.

FREIRE JR., O. Filosofia da ciência e controvérsia científica: um leque de concepções físicas e interpretações filosóficas da física quântica. **ScientiaeStudia**, v. 11, n. 4, p. 959-962, 2013.

OLIVEIRA, B. J. **Francis Bacon e a fundamentação da ciência como tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

PAIXÃO, M. F. C. **S História e Filosofia da Ciência: Construir uma Nova Imagem da Ciência na Formação de Professores**. Castelo Branco: Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2003.

PEDUZZI, L. O. Q. **A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica**. Florianópolis: publicação interna, 2015. Recuperado de: http://media.wix.com/ugd/7d71af_5d8925828479433eb694a14a8f294449.pdf

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Recuperado de: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PERES, P. S. **Epistemologia sem sujeito: a filosofia da ciência proposta por Karl Popper**. Universidade de São Paulo, 2002.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Editora Cultrix, 1959.

POPPER, K. R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

RAICIK, A. C. (em andamento). **Experimentos Exploratórios e Experimentos Cruciais no Âmbito de uma Controvérsia Científica: A Eletricidade Animal como Estudo de Caso** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, sem ano.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Experimentos exploratórios e novos caminhos para reflexões epistemológicas da experimentação: revisitando considerações baconianas. In **Atas do 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia**. Florianópolis, SC, Brasil, 2016.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Francis Bacon e a chama apagada na ciência: a experientia literata. In: **Atas do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis, SC, Brasil, 2017.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge**. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

RIBEIRO, J. F. P. **Domina Aeris ou qual é mais ilustre se a leveza ou a gravidade** (Dissertação de Mestrado). Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2005.

RUFATTO, C. A. & CARNEIRO, M. C. A concepção de ciência de Popper e o ensino de ciências. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 269-89, 2009.

SARGENT, R. M. Scientific Experiment and Legal Expertise: The Way of Experience In Seventeenth-Century England. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 20, n. 1, p. 19-45, 1989.

SCHMIEDECKE, W. G.; PORTO, P. A. History of science and science popularization on TV: theoretical resources for a critical approach of this relation in science teaching. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 2, p. 627-643, 2015.

SILVA, B. V. C. A Natureza da Ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório. **Lat. Am. J. Phys. Educ.**, v. 4, n. 3, p. 670-677, 2010.

SILVA, F. M. S. Sobre a indução em Francis Bacon. **Revista Urutágua: revista acadêmica interdisciplinar**, v. 14, p. 1-17, 2008.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SILVA, C. C. **A teoria das cores de Newton: um estudo crítico do Livro I do Opticks**. Dissertação (mestrado), Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física "Gleb Wataghin", 1996.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, p. 313- 27, 1996.

SILVEIRA, F. L. A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 219-230, 1996.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408- 432, 2002.

WEEKS, S. The role of mechanics in Francis Bacon's great instauration. In: C. Zittel *et al* (Ed.), **Philosophies of technology: Francis Bacon and his contemporaries** (pp. 133-196). Leiden-Boston: Brill, 2008.

WESTFALL, R. S. The Development of Newton's Theory of Color. **Isis**, v. 53, n. 3, p. 339-358, 1962.

ZEMPLER, G. A.; Demeter, T. Being Charitable to Scientific Controversies. **The Monist**, v. 93, n. 4, p. 640-656, 2010.

Capítulo 3

Uma análise da ilustração do experimentum crucis de Newton em materiais de divulgação científica

3 UMA ANÁLISE DA ILUSTRAÇÃO DO *EXPERIMENTUM CRUCIS* DE NEWTON EM MATERIAIS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA³⁴

An analysis of the experimentum crucis illustration of Newton in popular science materials

Resumo

O artigo analisa a contextualização dos estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores, particularmente a ilustração do *experimentum crucis*, em livros de divulgação científica. Para subsidiar a compreensão da importância dada às ilustrações e aos recursos literários dos experimentos em meados do século XVII, resgata as narrativas experimentais apresentadas por Boyle. Aponta, ainda, possíveis implicações para o ensino de ciências.

3.1 INTRODUÇÃO

A concepção e o reconhecimento de ‘experimentos cruciais’ na ciência são matérias controversas. Há posturas antagônicas tanto entre filósofos da ciência – que admitem desde a existência desses experimentos somente em retrospectiva àquelas que não aceitam que eles possam existir – quanto entre cientistas, que, em seus relatos científicos, utilizam a expressão com divergentes significados (RAIČIK, sem ano).

Ao longo dos séculos XVII e XVIII, período mais fortemente influenciado pelas novas concepções experimentais que surgiram na ciência, sobretudo com o método indutivo de Francis Bacon (1561–1626), identificam-se, entre outros, Robert Boyle (1627–1691), Robert Hooke (1635–1703), Isaac Newton (1643–1727), Luigi Galvani (1737–1798) e Alessandro Volta (1745–1827) empregando o termo ‘crucial’ para designar alguns de seus experimentos. Boyle parece ter sido o primeiro a fazer isso, utilizando a expressão *experimentum crucis* com apelo demonstrativo.

Na perspectiva baconiana, a *instantia crucis* pode se literalmente traduzida como ‘instância de encruzilhada’, uma vez que Bacon tomou o termo por referência/analogia às cruzes que se colocam nas estradas para indicar bifurcações. Boyle acreditava que, quando de um impasse teórico, apenas um experimento que mostrasse um efeito explicado por apenas uma teoria deveria ser buscado. Reside aqui “um exemplo quase perfeito de uma instância crucial de Bacon” (DUMITRU, 2013, p. 55).

No curso da nova filosofia natural experimental, os relatórios empíricos começaram a se fazer presentes na comunidade científica. Isto fez emergir a necessidade de ‘disciplinar’ a apresentação dos resultados contidos nessas narrativas. Bacon argumenta a favor de métodos

³⁴ Com pequenas alterações este artigo está publicado em *Física na Escola*, v. 15, n. 2, p. 24-30, 2017.

de comunicação. Segundo ele, pode-se descrever o que foi feito experimentalmente de forma ‘magistral’ à luz do pressuposto que “requer que se deve acreditar no que é dito” e com métodos ‘iniciativos’ que, por sua vez, mostram os processos pelos quais se chega a determinadas conclusões (SHAPIN, 1984, p. 515-516). Para se obter credibilidade, era imprescindível que a experiência fosse efetivamente comunicada ao público (DAVYT; VELHO, 2000).

Nessa perspectiva, embora de modo não descomedido, o zelo de Bacon levou Boyle a desenvolver formas literárias de comunicação de experimentos (SHAPIN, 1984). Ele buscou designar convencionalidades específicas à maneira de falar sobre a natureza e o conhecimento natural. Direta ou indiretamente, esse *status* ‘normativo’ influenciou a forma como as narrativas experimentais eram apresentadas entre os estudiosos e, posteriormente, às recém-criadas sociedades científicas.

Boyle preocupou-se com a reprodutibilidade dos experimentos. Isso o fez considerar como um dos quesitos mais relevantes dos relatos a elaboração e a veiculação de imagens³⁵ experimentais, sobretudo aquelas naturalísticas – que possuem detalhes circunstanciais que não são visíveis, por exemplo, em representações mais esquemáticas. Em seus próprios estudos ele registra detalhadamente e sob diferentes circunstâncias os experimentos que realizava. O papel da imagem, associada à sua descrição, estava fortemente relacionado, então, com a reprodução dos experimentos pelos pares, seja de forma física ou mental.

Em meio a essa intensa valorização experimental, Newton remete em 1672 um artigo, redigido em forma de carta, ao secretário da Royal Society relatando sua nova teoria sobre luz e cores (NEWTON, 1672a). O artigo, juntamente com outros escritos, serviu de base para a publicação da *Óptica* (NEWTON, 2002), em 1704, três décadas depois (COHEN; WESTFALL, 2002). No decorrer da apresentação desse seu estudo, pelo qual explica o fenômeno da formação das cores devido à refração, ele apodera-se com apelo retórico tanto do termo *experimentum crucis* para designar um de seus experimentos quanto de imagens que o ilustram, apresentadas em outro artigo em 1672 (NEWTON, 1672b) e na *Óptica*. A análise histórica desse episódio mostra, nitidamente, a incongruência de se admitir que um experimento é capaz de apresentar resultados que, de forma decisiva e instantânea, alcançam o consenso científico (GRANÉS, 2001; 2005; ASSIS, 2002; SILVA; MARTINS; 2003).

No ensino de ciências é corrente a ideia de que experimentos cruciais podem estabelecer a ‘verdade’ científica. Isto é, que o experimento, por si só, é capaz de gerar resultados definidores e incontestáveis (HODSON, 1988). Essa imagem está implícita ou

³⁵ Neste artigo os termos ilustração, imagem, figura e desenho são utilizados como sinônimos.

explicitamente presente, além de em livros didáticos, em diferentes meios de divulgação da ciência, como em filmes, séries, documentários e textos de divulgação científica. Ao seu modo, esses materiais – que cada vez mais fazem parte de atividades didáticas nas salas de aula – apresentam concepções e imagens sobre a ciência.

Por certo, a divulgação científica visa atingir um amplo público, não necessariamente alfabetizado cientificamente. Assim sendo, seus materiais utilizam recursos como ilustrações, infográficos, metáforas que, se não devidamente contextualizados, podem penalizar a precisão de informações (BUENO, 2010). Como ressalta Forato (2008), muitos deles contemplam perspectivas anacrônicas e descontextualizadas da construção da ciência, especialmente sobre o período tido como o ‘nascimento da ciência moderna’. Dessa forma, especialmente quando usados em sala de aula, requerem cuidados historiográficos, uma vez que podem reforçar concepções inadequadas ou limitadas *sobre* a ciência, como a que se refere ao mito do experimento crucial.

Este artigo busca investigar como uma amostra de livros de divulgação científica, de autores com distintas formações, contextualiza os estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores na perspectiva das ilustrações dos experimentos por ele desenvolvidos, particularmente do *experimentum crucis*. Para tanto, discute brevemente as narrativas experimentais apresentadas por Boyle e a importância concedida por ele, em meados do século XVII, às ilustrações e aos recursos literários dos experimentos quando de suas publicações. Em conclusão, apresenta implicações da análise desenvolvida para o ensino de ciências.

3.2 RELATOS EXPERIMENTAIS NO SÉCULO XVII: A RELEVÂNCIA DAS ILUSTRAÇÕES

Robert Boyle, com seu olhar perspicaz, persuadiu consideravelmente a identidade do novo praticante científico no final do século XVII (FULTON, 1932), tornando-se uma das figuras mais influentes da Royal Society. Defendendo que os relatos experimentais deveriam ser escritos em uma linguagem acessível aos seus contemporâneos, influenciado por Bacon, ele percebe que até então as narrativas continuavam a ser redigidas de forma indisciplinada e a sua confiabilidade era matéria de preocupação.

Em vista disso, Boyle argumenta que ao manipular a natureza era preciso não apenas buscar informações dos processos naturais, mas também melhorar o nível dessas informações.

A qualidade que tinham os experimentos de resultar em matérias de fato dependia não somente de sua real execução, mas também (...) da certificação por parte da

comunidade relevante de que eles haviam sido assim executados (SHAPIN, 2013, p. 95).

O próprio Boyle “ao reportar experimentos que eram particularmente cruciais ou problemáticos” escolhia suas testemunhas e julgava suas qualificações, para que suas demonstrações atestassem legitimidade.

O desenvolvimento de relatos experimentais que facilitassem a reprodução de experimentos pelos leitores era outra maneira de garantir o depoimento coletivo. Para isso, alguns desafios à época tinham de ser contornados, como aquele que se refere à dificuldade de acesso a determinados aparatos experimentais, pelo seu custo e locomoção, e à falta de habilidade de alguns dos estudiosos.

Não obstante, a forma mais relevante de se conseguir a multiplicação de testemunhas, que, vale frisar, era um critério de cientificidade experimental, era por meio de ‘testemunhos virtuais’ (SHAPIN, 2013). Essa estratégia empregava os mesmos recursos linguísticos de incentivo para a reprodução física do experimento ou para produzir na mente do leitor uma imagem naturalística da cena do experimento. As narrativas experimentais deveriam ser escritas de maneira que estudiosos não presentes como testemunhas ‘reais’, pudessem replicar efetivamente os efeitos relevantes do experimento. É importante ressaltar que para Boyle, portanto, o testemunho era uma questão de evidência e não de autoridade (SARGENT, 1989).

As imagens naturalísticas priorizadas por Boyle tinham por função complementar o testemunho por meio da imaginação. Elas não eram meros desenhos, mas figuras que apresentavam detalhes circunstanciais que, como ele alegava, não seriam visíveis em representações mais esquemáticas. “Produzir imagens desse tipo consistia em uma atividade onerosa em meados do século dezessete e os filósofos naturais as utilizavam com parcimônia” (SHAPIN, 2013, p. 99). Boyle também valorizava e fazia uso de imagens esquemáticas, desde que as mesmas apresentassem comentários e descrições.

Por certo, Boyle buscou organizar textos que, “com detalhes circunstanciais inseridos nos limites de uma estrutura gramatical”, poderiam imitar a simultaneidade da experiência por meio das representações pictóricas (SHAPIN, 1984, p. 493). Ele foi, sem dúvida, um personagem marcante na ciência, que ilustra a posição empírica afirmada claramente por Bacon (RENALDO, 1976). Newton foi seu contemporâneo, e, embora se possa destacar em seus estudos diversos recursos linguísticos ressaltados por Boyle, ele não teve, a contento, as mesmas preocupações.

Enquanto um andou humildemente e falou e escreveu em uma língua na qual as pessoas sem instrução poderiam ler e entender – e isso explica em grande medida a influência que exerceu –, o outro redigiu em latim o *Principia* (NEWTON, 1987) e viveu em uma esfera em que poucos poderiam penetrar (FULTON, 1932). Já na *Óptica* essa diferença é minimizada. Ela foi escrita originalmente em inglês, possivelmente para torná-lo mais popular em termos de conteúdo e de alcance (ASSIS, 1997).

3.3 AS ILUSTRAÇÕES DE NEWTON DO *EXPERIMENTUM CRUCIS*

No artigo “Nova Teoria sobre Luz e Cores”³⁶ (NEWTON, 1672a), Newton relata os resultados de vários anos de estudos e explica o fenômeno da formação das cores devido à refração (GRANÉS; 2001; 2005; COHEN; WESTFALL, 2002; SILVA; MARTINS, 1996). Desenvolvendo inúmeros experimentos com prismas, ele conclui que a luz branca é uma mistura heterogênea de raios com diferentes graus de refrangibilidade. Nesse artigo, ele não explorou abundantemente o artifício pictórico, mas utiliza o termo *experimentum crucis* para um de seus experimentos que, pode-se dizer, emprega um poder de legitimação, confiabilidade e persuasão em sua narrativa experimental.

Newton inicia seu relato descrevendo uma experiência que permitia a passagem de luz branca do Sol por um prisma de vidro:

(...) tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno orifício na veneziana de minha janela, para admitir a entrada de uma quantidade conveniente de luz solar, coloquei meu prisma à entrada dele, para que a luz fosse refratada para a parede oposta. A princípio, foi uma diversão muito agradável observar as cores vívidas e intensas assim produzidas, mas, depois de algum tempo empenhando-me em examiná-las com maior circunspeção, surpreendeu-me vê-las em uma forma oblonga, porquanto, segundo as leis aceitas da refração, eu esperava que ela fosse circular (NEWTON, 1672a, p. 3076; SILVA; MARTINS, 1996, p. 315).

De acordo com Granés (2001, p. 29) o parágrafo acima é “magistral, por sua precisão e poder de síntese”. Podem-se perceber aspectos circunstanciais, relevantes para Boyle, explanados por Newton ao descrever esse experimento. O quarto escurecido, o orifício na veneziana da janela, a função desse orifício, a colocação do prisma, o seu encantamento, a surpresa ao constatar algo imprevisto pela teoria vigente, são detalhes com os quais se pode evidenciar que, de fato, a “atenção para com a escrita de relatórios sobre experimentos tinha

³⁶ Traduções comentadas do artigo de Newton foram realizadas por Silva e Martins (1996) e por Granés (2001).

uma importância prática que era pelo menos igual à própria realização dos experimentos” (SHAPIN, 1984, p. 492).

Por certo, o caminho trilhado por Newton o conduzia a encontrar uma teoria para o fenômeno da formação das cores que permita explicar a forma oblonga do espectro sem abandonar a lei da refração de René Descartes (1596–1650) – que admitia que o raio incidente e o raio refratado que saem de um prisma se comportam de maneira simétrica na posição de desvio mínimo do prisma. A pergunta que ele se faz é:

a inesperada forma alongada do espectro sobre a parede não poderia, talvez, ser causada por elementos que dependem inteiramente das circunstâncias específicas que enquadram a realização particular do experimento? (GRANÉS, 2001, p. 32).

Newton verifica a hipótese de serem os componentes de seu experimento os causadores dessa forma alongada. Constatando sua improcedência, ele segue formulando novas conjecturas e fazendo (e criando) novas experimentações. Supõe que o alongamento era devido a uma irregularidade no prisma de vidro ou ainda a uma falta de paralelismo do feixe de luz proveniente do Sol que penetra o orifício da persiana, devido ao tamanho do astro e sua distância finita da Terra.

A eliminação dessas suspeitas levou Newton ao seu *experimentum crucis*, que consistia de uma lente à frente de um prisma, pela qual passava a luz branca do Sol. A lente possibilitava produzir um espectro fino e com cores bem definidas em um anteparo. Um furo no anteparo permitia que uma pequena faixa do espectro passasse por um segundo prisma, que não decompunha a luz em novas cores, apenas produzia uma mancha da cor seleccionada.

Curiosamente, a primeira imagem (Fig. 1) do experimento crucial irá aparecer apenas em um artigo, endereçado na forma de carta-resposta à Ignatius Pardies³⁷, publicado quatro meses depois, em junho de 1672 (NEWTON, 1672b), no *Philosophical Transactions*.

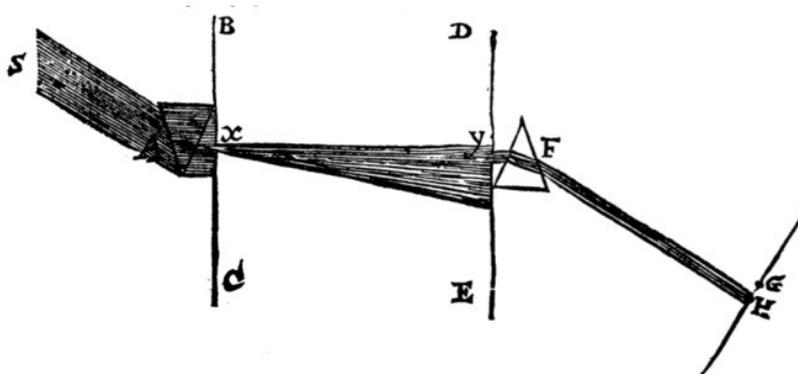


Figura 1 - O *experimentum crucis* de Newton, publicado em 1672 (NEWTON, 1672b).

³⁷ Pardies escreve sua primeira carta reagindo à teoria de Newton em abril daquele mesmo ano (GRANÉS, 2001).

De acordo com Newton, essa figura (Fig. 1) foi desenvolvida por causa das dúvidas e debates que surgiram após a publicação do artigo sobre a luz e as cores.

Finalmente, como a melhor confirmação, acrescento o Experimento a que eu já dei o nome de Crucial em vários lugares: já que as condições [sob os quais o experimento havia sido realizado] apresentaram dúvidas, eu decidi desenvolver esta figura (NEWTON, 1672b, p. 5016, tradução dos autores).

Conforme Boyle, as ilustrações nos relatos experimentais eram fundamentais para aqueles que requeriam auxílio visual, por não possuírem facilidade de imaginação (SHAPIN, 1984). A função da imagem newtoniana do experimento crucial pode ter sido a de ilustrar, ainda que superficialmente, como se dispôs o experimento, e evidenciar, sobretudo para os testemunhos, que ele de fato havia sido realizado, conferindo maior confiabilidade ao seu resultado.

Isso se justifica principalmente porque, após a publicação do seu primeiro artigo sobre o assunto, Newton recebeu muitas críticas. Diversos filósofos naturais escreveram à Royal Society indicando que os experimentos newtonianos não davam os resultados indicados por ele ou propondo outros que contrariavam a sua teoria (SILVA; MARTINS, 1996). “Para resolver a questão experimental, Robert Hooke foi encarregado de repetir diante da Royal Society os experimentos de Newton, e conseguiu reproduzi-los sem problemas” (SILVA; MARTINS, 1996, p. 325). Cabe ressaltar que, na época, Hooke era curador oficial da Royal Society, isto é, responsável por reproduzir os experimentos descritos nos artigos submetidos e/ou publicados pela academia. Apesar de aceitar como corretos os experimentos newtonianos, ele continuou a negar sua teoria.

Por certo, o objetivo principal do *experimentum crucis* foi descobrir se as cores poderiam ser transformadas e criadas, ou não. Todavia, segundo Silva e Martins (1996), o discurso por trás do seu experimento crucial muda durante as árduas discussões com seus críticos. Na *Óptica* (NEWTON, 2002), 32 anos depois, Newton também descreve e ilustra (Fig. 2) o que seria o *experimentum crucis*, porém nessa obra ele não explicita essa terminologia. Em seu livro, fica mais evidente a dependência desse experimento com outros para que se pudesse mostrar, conclusivamente, que as cores não eram uma mistura de luz e sombras, como pensavam alguns desde Aristóteles, nem produzida no ato da refração (ASSIS, 2002; PEDUZZI; 2015).

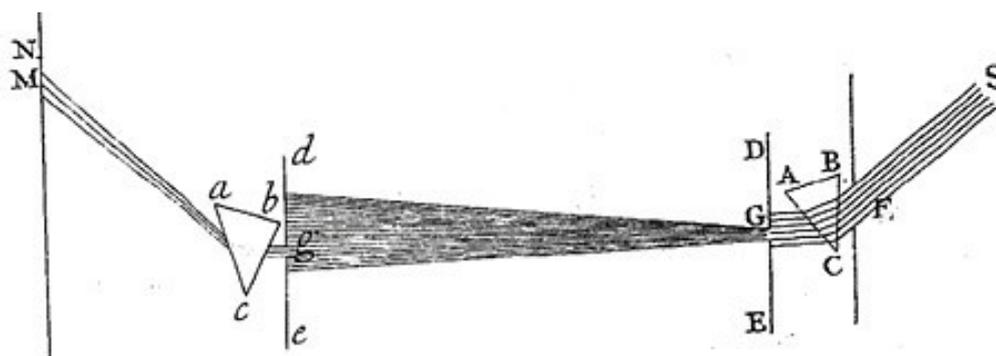


Figura 2 - Ilustração do *experimentum crucis* apresentado na *Óptica* em 1704.

A ilustração é acompanhada de um longo comentário, em que Newton busca explicar os aspectos circunstanciais pelos quais o experimento foi realizado. Todavia, é um texto despersonalizado e um tanto argumentativo, escrito com uma frieza objetiva e uma concisão que deixa de lado aspectos secundários (GRANÉS, 2005) priorizados por Boyle.

Para Newton, as premissas de sua teoria emanam diretamente, de maneira natural e quase evidente, do experimento que denominou crucial. Para Boyle, há uma retórica de convencimento inerente aos textos científicos. Encontram-se nos textos boyleanos uma preocupação em fornecer ao leitor uma imagem muito vívida da realização de cada um dos experimentos. Muitos dos leitores newtonianos, todavia, teriam dificuldades em replicar alguns de seus experimentos, pois teriam de ‘inventar’ detalhes técnicos da sua realização. Isso pode ser explicado pelo fato de que Newton, diferindo de Boyle, escreveu para um público mais especializado.

O certo é que “a famosa frase, *experimentum crucis*, tornou-se quase sinônimo de teoria newtoniana” (WESTFALL, 1962, p. 354). As imagens, apresentadas em diferentes textos, propiciaram ainda mais a disseminação do experimento e sua popularidade para diferentes públicos, gostando Newton ou não.

A ilustração em si revela ainda mais a sua importância na publicação da segunda edição da *Óptica* em Paris, no ano de 1722. Pierre Varignon, responsável por essa edição, solicitou a Newton uma imagem que representasse seu trabalho sobre óptica (ASSIS, 2002). Dentre inúmeras opções, Newton escolheu o *experimentum crucis* (Fig. 3). Além disso, havia no desenho a seguinte frase: *Nec variat lux colorem*, que quer dizer “a luz não muda de cor quando é refratada” (ASSIS, 2002).

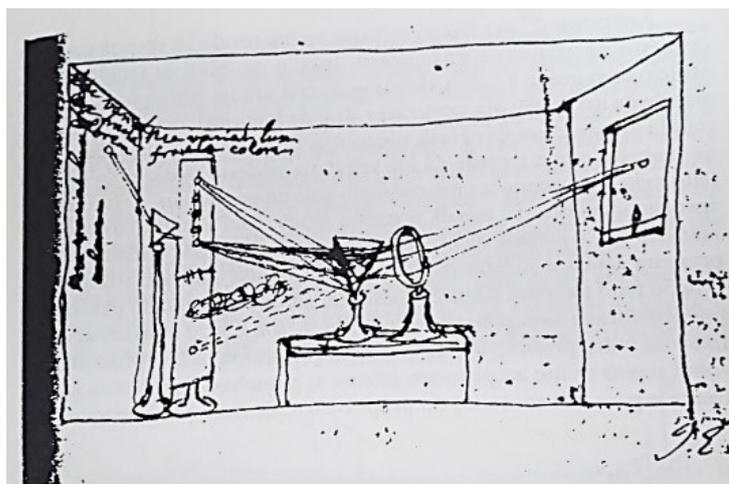


Figura 3 - Ilustração selecionada por Newton para representar seus estudos ópticos. A escolhida para a tradução francesa, publicada em 1722, foi uma versão aprimorada. Imagem extraída de Assis (2002).

3.4 O DISCURSO DA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: AS ILUSTRAÇÕES DOS EXPERIMENTOS SOBRE LUZ E CORES DE NEWTON

Quando Boyle buscou estabelecer textos científicos com determinados recursos linguísticos, ele visava, sobretudo, a popularização da ciência (SHAPIN, 2013). Ele defendia o que frequentemente é utilizado na literatura como ‘divulgação científica’: o uso de recursos técnicos para a comunicação científica ao público em geral (ALBAGLI, 1996). Newton, no entanto, admitia que o conhecimento deveria ser restrito aos iniciados, ou seja, a escrita deveria ser feita de forma específica para pessoas minimamente instruídas. Ele priorizava o que se pode chamar de ‘comunicação científica’, ou seja, um texto transcrito em códigos especializados, para um público seletivo formado de especialistas (BUENO, 2010). Cabe ressaltar que nem Boyle, nem tampouco Newton, utilizaram as expressões ‘comunicação’ ou ‘divulgação científica’.

Independentemente de como os relatos são escritos, tanto para os pares como para o público em geral, o certo é que o papel da divulgação científica vem evoluindo ao longo do tempo (ALBAGLI, 1996). O reconhecimento de que o processo de divulgar a ciência implica em uma transformação da linguagem científica com vistas a sua compreensão pelo público é um dos aspectos mais relevantes às problematizações relacionadas ao ‘por que’ e ao ‘como’ divulgar (MARANDINO, 2003).

Como salienta Fahnestock (2005), há mudança de informação de um discurso para outro. A linguagem deve ser adaptada de acordo com o público ao qual se destina. Nos discursos ditos primários, ou seja, nas ‘comunicações científicas’, há enfaticamente o recurso de

persuasão do leitor à relevância e legitimação dos novos conhecimentos apresentados (MASSARANE; MOREIRA, 2005). Os textos de ‘divulgação científica’, por sua vez, são prioritariamente epidícticos, isto é, possuem a finalidade de celebrar, e não de validar as informações (FAHNESTOCK, 2005).

De acordo com Massarane e Moreira (2005, p. 1), de modo geral pode-se distinguir três discursos: “os discursos científicos primários (escritos por pesquisadores para pesquisadores), os discursos didáticos (como os manuais científicos para ensino) e os da divulgação científica”. Apesar dessa distinção, a comunicação científica, entendida como o discurso primário, quando devidamente retrabalhada, pode contribuir no processo de divulgação científica. Inclusive, “em muitos casos, citações literais de material ou reprodução de falas identificadas com a comunicação científica são repassadas ao público leigo” (BUENO, 2010, p. 6). Podem ser discernidas várias estratégias de alteração na linguagem utilizada no processo de mudança de um discurso para outro, dentre elas a utilização de ilustrações.

As ilustrações, no âmbito dos diferentes discursos, têm sido utilizadas em número significativamente maior ao longo do tempo (MASSARANE; MOREIRA, 2005). Elas são importantes recursos para a comunicação científica, como defendia Boyle, e para a divulgação científica, podendo apresentar distintas funções nos textos e servindo indiscutivelmente como um recurso de visualização. Também desempenham um papel fundamental na constituição das idéias científicas e na sua conceitualização (MARTINS; GOUVÊA; PICCININI, 2005). Há, ainda, um consenso entre vários autores sobre o fato de as imagens desempenharem importante papel pedagógico no processo de ensino-aprendizagem (SILVA *et al.*, 2006). Nesse sentido, apresenta-se a seguir uma análise das ilustrações exibidas em materiais de divulgação científica sobre a teoria da luz e cores de Newton.

A amostra de livros para a apreciação levou em conta distintas formações dos autores. Dessa forma, foram analisados os seguintes livros: *Newton: a Órbita da Terra em um Copo d'Água* (VALADARES, 2003), de Eduardo Campos Valadares; *Isaac Newton o Último Feiticeiro: uma Biografia* (WHITE, 2000), de Michael White, e *Os Grandes Experimentos Científicos* (RIVAL, 1997), de Michel Rival. Valadares, autor de um dos livros, é doutor em ciências. Rival é especialista em questões científicas e técnicas e White é jornalista de divulgação científica.

As ilustrações foram classificadas à luz de quatro categorias – contextualização histórica, iconicidade, relação com o texto principal, função da imagem – desenvolvidas com base em Perales e Jiménez (2002): 1) por meio da *contextualização histórica*, procurou-se

analisar se houve contextualização da ilustração, ou apenas do assunto; 2) a *iconicidade*, que se refere à complexidade da ilustração, foi analisada sob quatro vieses: imagem naturalística (possuem detalhes circunstanciais que não são visíveis, por exemplo, em representações mais esquemáticas), esquemática (apresenta uma representação, mas dispensa detalhes) ou figurativa (é simplesmente simbólica); 3) na *relação com o texto principal*, buscou-se verificar se existe um vínculo explícito entre a ilustração e o texto ou se cabe ao leitor fazer a ligação entre eles; 4) a *função da imagem*, na sequência do discurso apresentado, foi classificada como decorativa (motivacional), representativa (ilustrativa), organizacional (descritiva, apresenta aspectos circunstanciais) ou explicativa. Além disso, analisou-se a complexidade da linguagem utilizada nessa relação.

O livro *Os Grandes Experimentos Científicos* (RIVAL, 1997) apresenta, cronologicamente, alguns experimentos desenvolvidos na física, desde o século III a. C., com Arquimedes, por exemplo, até a década de 1958, com as ondas gravitacionais. No período que correspondente ao ano de 1672, o livro discute brevemente o experimento crucial de Newton.

O título da seção é “Experimentum crucis” e o autor apresenta uma tradução literal para o termo: ‘experimento decisivo’. O livro inclui quatro páginas sobre o assunto e, embora sucinto, exhibe pequenos trechos originais. Ademais, veicula ao discurso duas imagens. A primeira delas, refere-se ao primeiro experimento descrito por Newton no artigo de 1672 (1672a) (ou o terceiro na “Óptica), em que constata a forma oblonga do espectro. A segunda ilustração é a do experimento crucial, a mesma apresentada por Newton na *Óptica* e já exibida na seção anterior deste artigo [fig. 2], ou seja, é uma ilustração primária, mas o livro não salienta isso, não contextualiza historicamente a imagem, descrevendo apenas que: “Essa foi a ‘experiência decisiva’, o experimentum crucis” (RIVAL, 1997, p. 27).

A ilustração, assim como está presente na obra original de Newton, é esquemática e sua função na sequência do livro de Rival pode ser classificada tanto como representativa (ilustrativa), quanto organizacional, já que o livro apresenta uma explicação do esquema experimental. Desta forma, há uma relação explícita entre a imagem e o texto principal que a descreve.

Como antes, Newton dispôs um prisma ABC atrás de um diafragma F, isolando um feixe de luz solar, e produziu assim um espectro na tela DE. Essa tela tinha um orifício G e era seguida de outra tela também com um orifício. Esses dois diafragmas isolavam um feixe luminoso pertencente a uma parte estreita do espectro que vinha iluminar um segundo prisma abc. Fazendo girar o prisma ABC, o segundo prisma abc recebia sucessivamente e sob uma incidência crescente os raios pertencentes às diferentes partes do espectro, e projetava sobre uma tela MN situada atrás dele as “imagens” de diferentes cores, ordenadas entre M e N como no espectro inicial (RIVAL, 1997, p. 27).

Neste trecho, pode-se perceber algumas mudanças em alguns termos utilizados na descrição, em relação a maneira com que o próprio Newton apresenta. As “imagens” de diferentes cores, na realidade, refere-se à luz refratada. Ademais, essa descrição está muito mais sucinta em relação a apresentada na *Óptica*, embora descreva muito bem o experimento.

Ao final da seção, Rival salienta que com as duas experiências, aquela em que Newton constata a forma oblonga do espectro e a do experimento crucial, pode-se concluir que elas apresentam: “por si mesmas: ‘os raios de luz que diferem em cor também diferem em grau de refrangibilidade’; e ‘a luz do Sol é composta de raios diferentemente refrangíveis’”(RIVAL, 1997, p. 28).

Todavia, essas duas proposições são demonstradas por Newton com uma série de experimentos, inclusive variantes fundamentais do *experimentum crucis*. Nenhum experimento *per se* apresenta uma conclusão sem que haja reflexão sobre ele. As observações não são neutras, o modo de interpretar um mesmo resultado experimental pode diferir de acordo com os pressupostos teóricos de cada estudioso. Isso, de fato, ocorreu com o *experimentum crucis*, por exemplo, com as objeções de Hooke e de alguns jesuítas, como Pardies, Linus e Lucas (GRANÉS, 2005). Por fim, o livro evidencia que o experimento crucial serviu para *demonstrar* a dispersão da luz branca, e que os dois experimentos descritos permitiram *evidenciar* duas proposições de Newton, que estão descritas no trecho acima.

O livro *Isaac Newton o Último Feiticeiro: uma Biografia* (WHITE, 2000) apresenta longas páginas biográficas sobre Newton e discorre sobre diferentes aspectos de sua vida e seus trabalhos. No capítulo 8, intitulado “Contendas”, o autor aborda o *experimentum crucis*.

Em 24 páginas de contextualização histórica acerca do assunto, o autor apresenta vários trechos de fonte primária e três ilustrações. A primeira delas é um diagrama, ou esquema, do experimento crucial (Fig. 4). A imagem é apenas ilustrativa e não apresenta uma relação explícita com o texto principal; fica a cargo do leitor relacionar a imagem com o texto. A segunda imagem mostra a luz de um prisma através de uma lente, ilustrativa somente, e a última exhibe a produção de cores isoladas com a utilização de um disco dentado.

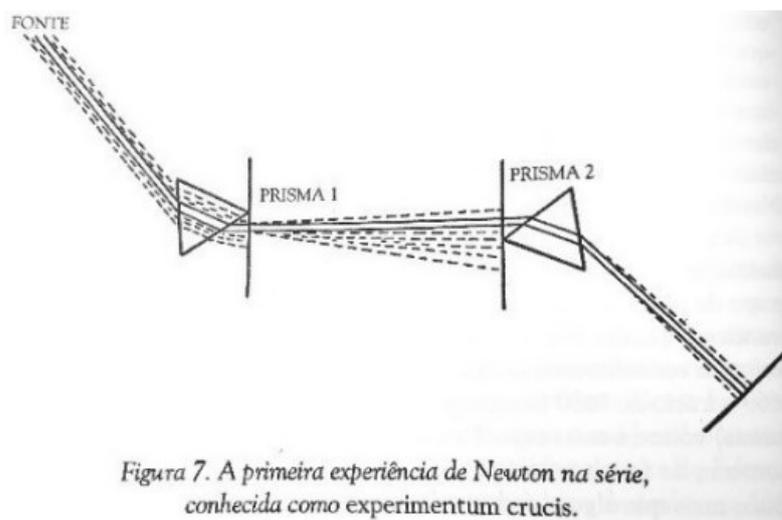


Figura 4 - Ilustração do *experimentum crucis* e sua legenda, apresentada por White (2000).

O experimento crucial é apresentado e descrito de forma muito simplista, inicialmente:

Usando pouco mais que alguns pedaços de cartão e dois prismas de vidro, a primeira destas novas experiências, depois conhecida como *experimentum crucis*, foi o primeiro e tardio sinal que o mundo científico teve de seu gênio como experimentador, porque era tão bela em sua simplicidade quanto eficaz para encapsular a teoria de Newton (WHITE, 2000, p. 163).

Nesse trecho, vê-se claramente que o autor não menciona, assim como também não o faz Rival, que o próprio Newton denominou um de seus experimentos de crucial. Aliás, o experimento não revela a genialidade newtoniana por ser simples e encapsular a sua teoria, tanto que houve inúmeras discussões acerca dos resultados e explicações por ele apresentados, gerando inclusive consideráveis controvérsias. Além disso, o autor apresenta o experimento como se Newton não tivesse pensado nos componentes de sua composição, como se o tivesse desenvolvido com meros materiais encontrados aleatoriamente em seu ‘laboratório’.

White salienta, especificando melhor em que consistia o experimento crucial newtoniano, que:

A primeira das novas experiências (o *experimentum crucis*) fazia mais uma vez a luz do sol passar por um prisma. Partes do espectro produzido passavam então por um minúsculo orifício num cartão colocado a pouca distância. Assim Newton pôde fazer com que apenas uma das cores do espectro passasse pelo orifício. Essa luz atravessava então o orifício de um outro cartão e depois um segundo prisma, para finalmente cair em um cartão branco. Newton descobriu que se só deixasse a luz de uma das extremidades do espectro (a luz azul) passar pelo sistema, ela seria muito mais refratada do que se usasse a luz vermelha (WHITE, 2000, p. 164).

Essa descrição está mais detalhada do que o trecho anterior. Há algumas palavras que foram introduzidas, possivelmente a fim de deixar mais claros os materiais utilizados na experiência original. Fazendo um contraste com a *Óptica*, Newton ressalta que usou anteparos;

White, por sua vez, os chama de cartões.

O autor expõe alguns variantes desse experimento, que foram importantíssimos para a consolidação de duas das proposições sobre luz e cores apresentadas na *Óptica*. Além disso, enfatiza que a demonstração de como a luz é refratada ia contra a visão dominante na época, como salienta também Rival. Não obstante, não era a demonstração em si, mas a explicação de Newton que diferia de concepções teóricas daquele período histórico acerca do fenômeno.

O livro *Newton: a Órbita da Terra em um Copo d'Água* (VALADARES, 2003), assim como White, discorre sobre os mais diversos estudos e trabalhos de Newton, tanto na óptica, na mecânica e na alquimia como seus estudos bíblicos, por exemplo. No capítulo quatro, “Invenção do Cálculo, Gravitação e Experiências com a Luz”, o autor apresenta uma subseção denominada “Experiências com prismas”.

De modo muito sucinto, Valadares descreve a experiência em que Newton constata a forma alongada do espectro e, a seguir, diz que ele “concebeu um novo experimento que demandava um segundo prisma (...) demonstrando assim que a luz branca era, de fato, composta” (VALADARES, 2003, p. 64-65). Esse trecho está se referindo ao *experimentum crucis*. Todavia, o autor em nenhum momento apresenta esse termo. Por vezes, utilizar o termo sem contextualizar seu significado pode ser um problema maior, talvez, do que não explicitá-lo, pois nesse caso caberia ao leitor interpretá-lo. Prosseguindo, Valadares frisa que:

Com seus experimentos, Newton derrubou o dogma da luz branca ‘pura’ que persistia por mais de dois mil anos. Além disso, ele demonstrou que cada componente da luz branca, ao incidir em um prisma, é desviado de um ângulo diferente em relação a uma reta perpendicular à superfície do prisma no qual a luz incide (veja figura), fenômeno conhecido como dispersão (VALADARES, 2003, p. 65-66).

A ilustração apresentada (Fig. 5) tem uma relação explícita com o texto principal, no entanto o autor não a descreve. A imagem é meramente figurativa e somente assume significado com sua legenda. Ela não parece adquirir sentido na sequência do texto, pois mostra diversos experimentos sem descrição e/ou explicação.

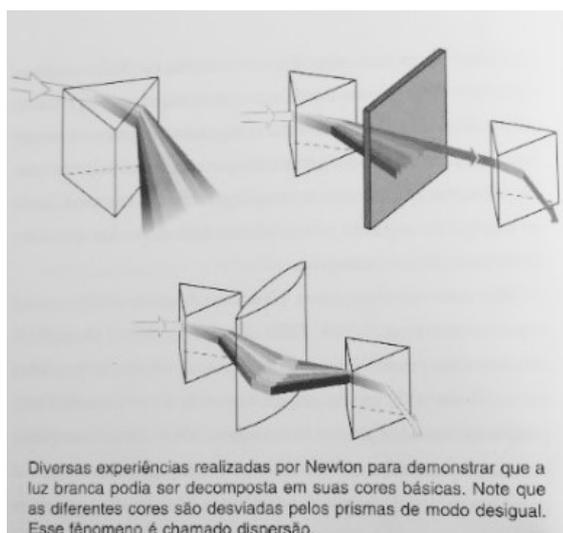


Figura 5 - Diversos experimentos desenvolvidos por Newton, apresentados por Valadares (2003).

Com esse tipo de ilustração, fica a cargo do leitor decifrar que uma flecha, por exemplo, indica a incidência de um raio de luz e que o desenho de um triângulo simboliza um prisma. Ou seja, por não haver descrição da imagem ao longo do texto principal, há uma linguagem em códigos implícita na mesma, que dificulta a compreensão do leitor e relega a imagem à mera função de ilustrar experimentos.

Cabe apontar que Valadares, na capa de seu livro, apresenta uma ilustração decorativa (Fig. 6) da refração da luz por um prisma de vidro, notavelmente fazendo alusão aos estudos newtonianos.

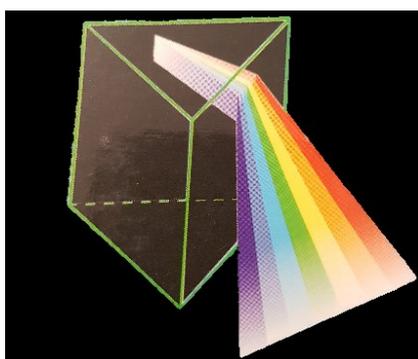


Figura 6 - Uma das ilustrações da capa do livro “Newton: a Órbita da Terra e um Copo d’Água”.

De modo geral, nas três obras analisadas verifica-se a tentativa dos autores de contextualizar os estudos de Newton sobre luz e cores. Notam-se elementos comuns apresentados na abordagem histórica, que indicam que novas explicações sobre o fenômeno das cores estavam surgindo com os experimentos newtonianos. No entanto, nenhuma delas contextualiza a imagem em si, tanto do experimento crucial, que é apresentada por Rival e White, quanto das demais ilustrações presentes em todas as obras.

Como já foi salientado, nos estudos ópticos desenvolvidos no século XVII e XVIII a ilustração exerceu um papel relevante no âmbito da *comunicação científica*. Já nos livros de divulgação científica analisados, o discurso em torno do recurso pictórico é modificado. As ilustrações apreciadas, quando inseridas na sequência de cada texto, embora algumas sejam retiradas da própria *Óptica*, perdem o rigor científico e apresentam, nitidamente, falta de aprofundamento de detalhes específicos quanto a sua descrição. Todavia, pode-se perceber nas três obras, muitas vezes, que essas perdas são compensadas pela abrangência e pela visão global com que o tema é abordado.

Vê-se, como salienta Fahnestock (2005), que os textos epidícticos, aqueles da divulgação científica, priorizam os resultados científicos e não o processo pelo qual o conhecimento foi desenvolvido. Já nos originais de Newton, percebe-se um esforço maior em discorrer sobre o processo da construção do conhecimento. Embora Newton priorize uma reconstrução dos seus estudos, ou seja, enfatize os seus resultados, é nítido o seu envolvimento com diversos experimentos e hipóteses que o auxiliaram.

3.5 NEWTON E A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

Historicamente, a *comunicação científica* e a *divulgação científica* vêm crescentemente dialogando de modo a consolidar uma intensa relação. Atualmente, a comunicação científica pode ser considerada fonte histórica de jornalistas e divulgadores para o desenvolvimento dos discursos da divulgação científica (BUENO, 2010). Nas obras analisadas, percebe-se claramente o uso de fonte primária.

Não obstante, apesar desse profícuo diálogo, não se pode obliterar que os discursos são evidentemente distintos, de acordo com o objetivo, a audiência, a situação (FAHNESTOCK, 2005). A divulgação científica busca, prioritariamente, permitir que as pessoas leigas possam entender, ainda que parcialmente, o mundo em que vivem e as novas descobertas científicas; em síntese, proporcionam a exteriorização da ciência (SILVA, 2006).

Nesse sentido, o apelo visual é importante. Todavia, a ilustração é um recurso que pode penalizar a precisão das informações (BUENO, 2010) ou, ainda, disseminar uma ideia equivocada de ciência. Como salientado, no século XVII Boyle priorizava o uso de ilustrações desde que fossem seguidas de descrições, de discursos que apresentassem aspectos circunstanciais. A função das imagens era de propiciar às testemunhas virtuais a reprodução do experimento; levar o leitor mentalmente para a cena do ‘laboratório’ (SHAPIN, 2013). Nos

estudos de Newton, veem-se inúmeras imagens, sempre com descrições e comentários específicos, como no caso do experimento crucial.

Nos livros analisados, a imagem tem a função meramente ilustrativa, e mesmo que alguns autores busquem descrevê-las, muitas vezes passa-se a visão de que o experimento, por si só, apresenta uma ‘verdade’ científica. Além disso, nas entrelinhas do discurso científico há implicitamente a ideia da construção do conhecimento por meio de um empirismo ingênuo. Assim, quando levado ao ensino de ciências, por exemplo, eles podem contribuir para a propagação de uma ciência unicamente empírica, com observações supostamente neutras, e que um dado experimental representa uma corroboração indiscutível. Por isso a necessidade de se tomar os devidos cuidados quando materiais de divulgação científica, ou uma ilustração não contextualizada, por exemplo, são trabalhados em sala de aula. Além disso, embora se reconheça que há distintos objetivos entre as obras originais e os livros de divulgação científica, o uso de imagens primárias em contextos diferentes, que por vezes não as contextualizam, distorcem o próprio sentido da natureza da imagem. Na filosofia de Boyle, por exemplo, elas transportariam o leitor ao momento de realização do experimento, além de contribuir para sua replicação. Este último, por certo, não foi o foco das obras analisadas.

Não obstante, essas colocações não invalidam as obras que simplesmente traduzem o senso comum das pessoas em geral e visam disseminar a ciência para um público mais leigo. Diversos autores têm sugerido atividades didáticas que valorizem o contato dos alunos com diferentes tipos de textos, inclusive os de divulgação científica, que expressam uma variedade de formas de argumentação e pontos de vista (FERREIRA; QUEIROZ, 2012). Muitos benefícios são apontados por esse contato ampliado, dentre eles o acesso a uma maior diversidade e divergência de informação, habilidades de leitura e formas de argumentação (MARTINS; CASSAB; ROCHA, 2001), além da reflexão *sobre* a ciência, que pode e deve ser estimulada.

Afinal, Newton não pretendia apenas corroborar ou refutar a teoria vigente, mas sim buscar entender e explicar uma anomalia: a forma oblonga da luz solar ao ser refratada por um prisma de vidro. Nesse sentido, como há mudança de um discurso para outro, os materiais de divulgação científica, quando levados ao uso didático, reforçam a importância do papel do professor como agente contextualizador, reflexivo e crítico. O docente pode propiciar uma maior compreensão do complexo episódio newtoniano com a luz e cores, a função das ilustrações para a comunicação científica e, ainda, seu envolvimento frutífero com a experimentação, aspectos esses não explorados, devidamente, em muitos materiais de

divulgação científica.

REREFÊNCIAS

ALBAGLI, S. Divulgação científica: informação científica para a cidadania? **Ci. Inf.**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 396-404, 1996.

ASSIS, A. K. T. Newton e suas grandes obras: o *Principia e Óptica*. **Mesa redonda** do II Encontro da Ciência, Leitura e Literatura, Campinas: UNICAMP, 1997.

ASSIS, A. T. **Óptica: tradução, introdução e notas**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

BUENO, W. C. Comunicação Científica e Divulgação Científica: Aproximações e Rupturas Conceituais. **Inf. Inf.**, Londrina, v. 15, n. esp, p. 1 - 12, 2010.

COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto: EDUERJ, 2002.

DAVYT, A.; VELHO, L. A avaliação da ciência e a revisão por pares: passado e presente. Como será o futuro?. **História, Ciências, Saúde Manguinhos**, v. 7, n. 1, p. 93-116, 2000.

DUMITRU, C. Crucial Instances and Crucial Experiments in Bacon, Boyle, and Hooke. **Society and Politics**, v. 7, n. 1, p. 45-61, 2013.

FAHNESTOCK, J. Adaptação da ciência: a vida retórica de fatos científicos. In: Massarani, L. *et al.* **Terra incógnita: a interface entre ciência e público**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent: UFRJ, Casa da Ciência: FIOCRUZ, p. 77-98, 2005.

FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. Textos de divulgação científica no ensino de ciências: uma revisão. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 5, n. 1, p.3-31, 2012.

FORATO, T. C. M. A Filosofia Mística e a Doutrina Newtoniana: uma discussão historiográfica. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.1, n.3, p.29-53, 2008.

FULTON, J. F. Robert Boyle and His Influence on Thought in the Seventeenth Century. **Isis**, v. 18, n. 1, p. 77-102, 1932.

GRANÉS, J. S. **Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2005.

GRANÉS, J. S. **La gramática de una controversia científica: El debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz**. Universidad Nacional de Colômbia. Editorial Unibiblos: 2001.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, 1988.

MARANDINO, M.; *et. al.*, A Educação Não Formal e a Divulgação Científica: o que pensa quem faz? In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais...2004**.

MARTINS, I.; CASSAB, M.; ROCHA, M. B. Análise do processo de re-elaboração discursiva de um texto de divulgação científica para um texto didático. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 3., 2001. **Anais...** Atibaia, 2001.

MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; PICCININI, C. Aprendendo com imagens. **Cienc. Cult.**, v. 57, n. 4, 2005.

MASSARANE, L.; MOREIRA, I. C. A retórica e a ciência dos artigos originais à divulgação científica. **MultiCiência: Linguagem da Ciência**, v. 4, p. 1-18, 2005.

NEWTON, I. A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society, **Philosophical Transactions**, v. 6, n. 80, p. 3075-3087, 1672a.

NEWTON, I. Mr. Newton's Answer to the Foregoing Letter. **Philosophical Transactions**, v. 7, p. 4014-5018, 1672b.

NEWTON, I. **Óptica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

NEWTON, I. **Principios matemáticos de la filosofía natural**. Madrid: Alianza Editorial, 1987.

PEDUZZI, L. O. Q. **A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 369-386, 2002.

RAICIK, A. C. (em andamento). **Experimentos Exploratórios e Experimentos Cruciais no Âmbito de uma Controvérsia Científica: A Eletricidade Animal como Estudo de Caso** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, sem ano.

RENALDO, J. J. Bacon's Empiricism, Boyle's Science, and the Jesuit Response in Italy. **Journal of the History of Ideas**, v. 37, n. 4, p. 689-695, 1976.

RIVAL, M. **Os grandes experimentos científicos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1997.

SARGENT, R. M. Scientific Experiment and Legal Expertise: The Way of Experience In Seventeenth-Century England. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 20, n.1, p. 19-45, 1989.

SHAPIN, S. **Nunca Pura**: Estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade e autoridade. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

SHAPIN, S. Pump and Circumstance: Robert Boyle's Literary Technology. **Social Studies of Science**, v. 14, n. 4, p. 481-520, 1984.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.18, p. 313- 27, 1996.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SILVA, H. C. O que é divulgação científica? **Ciência e Ensino**, v. 1, n. 1, p. 53-59, 2006.

SILVA, H. C.; ZIMMERMANN, E; CARNEIRO, M. H. S.; GASTAL, M. L.; CASSIANO, W. S. Cautela ao usar imagens em aulas de ciências. **Ciência e Educação**, v. 12, n. 2, p. 219-233, 2006.

VALADARES, E. C. **Newton: a órbita da Terra em um copo d'água**. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

WESTFALL, R. S. The Development of Newton's Theory of Color. **Isis**, v. 53, n. 3, p. 339-358, 1962.

WHITE, M. **Isaac Newton o último feiticeiro: uma biografia**. Rio de Janeiro: Record, 2000.

Capítulo 4

*A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica:
implicações para o ensino de ciências*

4 A ESTRUTURA CONCEITUAL E EPISTEMOLÓGICA DE UMA CONTROVÉRSIA CIENTÍFICA: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS³⁸

The conceptual and epistemological structure of a scientific controversy: implications for the teaching of sciences

Resumo

A questão do que vem a ser uma controvérsia científica, e suas possíveis classificações, é bastante peculiar. Este artigo visa contextualizar definições de controvérsias científicas, algumas de suas principais origens, e possíveis classificações, como as de Baltas (2000) e Goodwin (2013). Nessa perspectiva, propõe e exemplifica três tipos de controvérsias científicas: as analíticas, as resistivas e as argumentativas. Por fim, discute de que forma essas reflexões podem ser frutíferas para explorar aspectos relativos à Natureza da Ciência em sala de aula.

Palavras-chave: Controvérsia científica; Tipos de controvérsias; Natureza da Ciência.

Abstract

The question of what is it a controversy scientific, and its possible classifications, is quite peculiar. This article aims to contextualize definitions of scientific controversies, some of its main origins and possible classifications, such as those of Baltas (2000) and Goodwin (2013). From this perspective, it proposes and exemplifies three types of scientific controversies: analytical, resistive and argumentative. Finally, it is discussed how these reflections could be fruitful to explore aspects related to the Nature of Science in the classroom.

Keywords: Scientific controversy; Types of controversies; Nature of Science.

4.1 INTRODUÇÃO

Controvérsias estão presentes nos mais variados campos de conhecimento, sejam eles político, social, tecnológico, religioso, científico, etc. Como elas surgem e a maneira com que se desenvolvem e são resolvidas, normalmente, divergem em cada área e não é incomum diferentes gêneros de controvérsia estarem interligados (ENGELHARDT; CAPLAN, 2003). Na ciência é visível que inúmeros avanços importantes, e mudanças dramáticas, envolveram algum tipo de controvérsia. A ciência tem como uma de suas capacidades mais fascinantes a propensão de ser controversa. Não obstante, o reconhecimento da sua pertinência nem sempre foi considerado. Os filósofos e estudiosos que deram origem à ciência moderna, por exemplo, estavam fortemente ligados à ideia de que a ciência é incontroversa. O princípio desse pensamento estava na percepção de que a natureza tem sua própria ordem e que existe um método universal para decifrá-la (PERA, 2000).

³⁸ Com pequenas alterações este artigo está publicado em *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 1, p. 42-62, 2018.

Isto não implicava a inexistência de desacordos, mas tão somente que conflitos deveriam ser rápida e definitivamente resolvidos. A suposta “essência” da ciência – seu produto final ou sua reconstrução racional – teria de envolver apenas argumentos lógicos, livre de disputas. No *Novum Organum*, por exemplo, Francis Bacon apresenta um método que nivelaria a inteligência do ser humano e, portanto, poria fim a qualquer querela. A raiz disso está no entendimento de que é preciso dominar a natureza, não adversários. “A natureza supera em muito, em complexidade, os sentidos e o intelecto. Todas aquelas belas meditações e especulações humanas, todas as controvérsias são coisas malsãs” (BACON, 1979, I, X, p. 14).

O positivismo lógico refina de certa forma esse pensamento. A explicitação da distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa por Hans Reichenbach (1938) contribui, consideravelmente, para se manter a noção de que um método dispensaria qualquer necessidade de “discussões calorosas” (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000). A filosofia da ciência, nesse contexto, não se preocupava em analisar os processos da pesquisa científica; o essencial pautava-se nos seus resultados: as descobertas realizadas (como um produto), as teorias³⁹ elaboradas, os métodos (lógicos) utilizados e a justificação empírica. Os “erros” detectáveis na ciência, que poderiam gerar controvérsias, precisariam ou ser corrigidos ou relegados ao contexto da descoberta; eles não teriam efeito algum na sua justificação. Qualquer possível controvérsia deveria ser solucionada pela experimentação, evidência e exercício da razão. Em termos históricos, e em boa medida, preservava-se a ideia central de que a base para a análise da ciência era o empirismo clássico e a lógica formal.

Os experimentos ditos cruciais⁴⁰ poderiam resolver eventuais disputas (KITCHER, 2000). Karl Popper (1974, p. 225), por exemplo, frisou que “os cientistas evitam tratar de divergências verbais (...). Nas ciências naturais isto se consegue reconhecendo a experiência como árbitro imparcial de suas controvérsias”. A experimentação, nessa perspectiva, exercia um papel primordial na ciência, ao testar uma teoria, ao mesmo tempo em que era negligenciada, no sentido de ter sua função simplificada e limitada ao teste e não fazer parte efetiva de sua construção (STEINLE, 2002).

Contudo, a visão de um método indubitável e infalível mostrou-se ultrapassada. O reconhecimento de que a ciência, em todo o seu desenrolar, é influenciada por fatores históricos, pessoais, culturais, sociais, políticos, éticos, econômicos, possibilita ver que ela não é um ideal

³⁹ O termo teoria é utilizado, neste artigo, como sinônimo de hipótese, assim como ocorre com frequência nas obras aqui citadas.

⁴⁰ Raicik, Peduzzi e Angotti (2017).

puramente lógico e neutro; sendo, portanto, passível de controvérsias. Obras que impactaram a filosofia da ciência em meados do século passado, como as de Stephen Toulmin, Norwood Hanson, Paul Feyerabend, Imre Lakatos, Thomas Kuhn, entre outros, com abordagens centradas na mudança teórica, incomensurabilidade, progresso científico, programas de pesquisas, história da ciência, tornam explícita a relevância de controvérsias das mais variadas naturezas (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000). Assim, a filosofia entendida até então como uma entidade puramente normativa – que objetivava estabelecer as regras que deveriam reger qualquer atividade científica – passa a analisar fenômenos envolvidos em uma controvérsia, ajuda na compreensão de suas várias dimensões, clarifica suas fontes, origens, formas e reflete sobre as distintas ferramentas utilizadas em seu desenrolar e resolução. Juntamente com a história da ciência e outras disciplinas como a sociologia, reconhece-se que é possível, e fundamental, examinar caso a caso como são as controvérsias na prática e o porquê de elas seguirem determinados caminhos. Os desacordos e a completa suspensão do consentimento não são mais considerados estranhos à ciência, mas sim essenciais a ela (McMULLIN, 2003).

Incorporados a essa aceitação surgiram questões que ainda continuam a ser debatidas: o que são controvérsias científicas? Por que elas existem? Há distintos tipos de controvérsias científicas? Se as experiências envolvem técnicas de observação, instrumentação e não podem, como almejava Popper, ser um árbitro imparcial, como as controvérsias são resolvidas? A ciência não é mais um ideal lógico regulada por um mediador isento; ela não pode mais aspirar uma visão de mundo divina.

De modo a proporcionar considerações acerca de alguns desses questionamentos, este artigo visa apresentar sucintamente algumas espécies de controvérsias. Para isso, além de comentar as classificações de Baltas (2000) e Goodwin (2013), sugere e caracteriza a existência de três tipos de controvérsias científicas: as analíticas, as resistivas e as argumentativas. Por fim, discute de que forma essas reflexões podem ser frutíferas para explorar aspectos relativos à Natureza da Ciência em sala de aula.

4.2 CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS: GÊNESES E DEFINIÇÕES

A questão do que vem a ser uma controvérsia científica é bastante peculiar. Na literatura não é incomum autores a utilizarem como sinônimo de disputas, desacordos, querelas, conflitos – expressões também utilizadas indistintamente neste artigo. Não obstante, como

salienta Baltas (2000), em seu íntimo, uma controvérsia não é um mero desacordo, mas “algo que não pode ser facilmente resolvido” (p. 44). As divergências na ciência podem tomar proporções distintas dependendo do assunto e do público envolvido; algumas delas têm como protagonistas dois estudiosos, enquanto outras podem abranger não necessariamente indivíduos específicos, mas grupos diferentes que discordam entre si. Por certo, nenhuma querela, por mais profunda que seja, pode adquirir o *status* de controvérsia a menos que haja o engajamento da comunidade científica em geral, embora apenas isso não seja suficiente. Segundo McMullin (2003), para ser considerado matéria controversa um desacordo deve: i) ser contínuo; ii) ter argumentos e contra-argumentos; iii) apresentar intercâmbios públicos, isto é, ser expresso por ambos os lados de forma escrita ou oral, para que outros possam vir a julgar os seus méritos.

Como ainda destaca McMullin (2003), uma controvérsia é um evento histórico; tem uma data e um lugar. Não é apenas uma relação abstrata de evidência e hipótese. Sem grande rigor, pode-se defini-la como uma disputa mantida pública e persistentemente sobre uma questão de crença considerada significativa por um número de estudiosos praticantes. Isto, partindo-se do pressuposto de que “uma controvérsia científica existe somente quando partes substanciais da comunidade científica vêem algum mérito em ambos os lados de um desacordo público” (p. 53). A provável complexidade do debate aumenta com o expressivo envolvimento público (ENGELHARDT; CAPLAN, 2003).

Em princípio, uma controvérsia é aberta a todos os que estão qualificados para entender a questão em jogo. Trata-se, portanto, de uma atividade comunitária, embora possa começar por envolver apenas duas pessoas. Os protagonistas apelam para os outros como se fossem juízes; o resultado da controvérsia dependerá não apenas das ações e argumentos dos protagonistas, mas da resposta a estes da comunidade científica em geral, ou pelo menos da parte da comunidade que se preocupa com o tema em disputa (McMULLIN, 2003, p. 51-52).

Em termos gerais, pode-se dizer que uma controvérsia é algo que surge quando uma nova reivindicação não se ajusta ao corpo de conhecimento aceito até aquele momento na ciência, ou porque ele ainda não existe, e a comunidade não pode simplesmente negligenciá-lo. Ainda, ela pode ser entendida como uma fase de quebra estrutural ou uma ruptura (BRANTE; ELZINGA, 1990).

É possível identificar, também, momentos em que *não* há espaço para controvérsias na ciência, como enfatizam Machamer, Pera e Baltas (2000). Isto se dá, por exemplo, quando a nova reivindicação: i) se adequa ao corpo de conhecimento aceito naquele momento, conforme ocorre nos refinamentos de parâmetros, na detecção de alguns novos fenômenos; ii) não se encaixa no corpo teórico de conhecimento vigente, mas os estudiosos não querem ou não podem

mudá-lo, como aconteceu com o periélio anômalo de Mercúrio; iii) modifica a teoria aceita, mas a alteração é considerada útil, tal como o eletromagnetismo de Maxwell.

Para além de termos, sinônimos e definições, a *essência* de uma controvérsia e sua distinção para o desenvolvimento científico é o que torna mais relevante a sua análise. Discordâncias sobre conceitos, métodos, interpretações e aplicações são a força vital da ciência e um dos fatores mais produtivos da sua construção (NARASIMHAN, 2001). As controvérsias são tão variadas em suas causalidades quanto qualquer outra complexa ação humana (McMULLIN, 2003).

Nesse sentido, sua gênese pode estar relacionada aos fatos, hipóteses ou teorias, instrumentos, princípios metodológicos ou ontológicos, etc. A confiabilidade nos fatos fornecidos pela natureza foi algo engrandecido e apreciado por muito tempo na ciência. Como já defendia Bacon,

as palavras forçam o intelecto e o perturbam por completo. E os homens são assim, arrastados a inúmeras e inúteis controvérsias e fantasias (...) Apoiados na evidência dos fatos, rejeitamos toda sorte de fantasia ou impostura (BACON, 1979, I, XLIII-CXXII, p. 22, 81).

Fontes de imparcialidade, eles poderiam, e deveriam, juntamente com um raciocínio rigoroso, resolver controvérsias científicas (ENGELHARDT; CAPLAN, 2003).

Contudo, os próprios fatos, tão estimados, não estão isentos de serem controversos. Pode-se questionar a sua existência, sua inclusão e sua relevância em um determinado contexto. Os fatos ou as experiências que dão origem às afirmações deles ou sobre eles envolvem interpretação e, inevitavelmente, aspectos cognitivos e sociais (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000). Controvérsias que têm por gênese os fatos não são mais tão recorrentes, sobretudo devido as técnicas de controle experimental que se tornaram cada vez mais precisas, mas elas existem. As experiências, sejam elas exploratórias ou guiadas por uma teoria (STEINLE, 1997; RAICIK; PEDUZZI, 2015), podem abranger técnicas de observação, instrumentação e, até mesmo, de planejamento e execução; assim a natureza de um experimento pode causar desacordos. Normalmente os experimentos são realizados em laboratórios, desenvolvidos por grupos de pesquisas e, portanto, envolvem interação. Consequentemente, isso pode gerar disputas pessoais, nacionalistas, epistemológicas. “Os motivos são múltiplos e distintos; fraudes, controles experimentais inadequados, resultados contraditórios, melhores técnicas experimentais...” (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000, p. 8). Até mesmo a confiabilidade em um determinado instrumento pode ocasionar discórdia (KITCHER, 2000).

Além disso, mas não menos importante, os experimentos envolvem apreciação crítica, consequentemente, um grau de subjetividade.

Entretanto, a fonte mais comum de controvérsia na ciência envolve a diferença teórica. Isto é, quando duas ou mais teorias buscam explicar um mesmo fenômeno/problema. As controvérsias desse gênero podem contemplar discussões em torno de seus formalismos matemáticos, da natureza e da adequação de seus termos, dos seus efeitos tecnológicos e sociais, de suas questões de utilidade, valor, interesse. Efetivamente essas controvérsias implicam em avaliação e escolhas teóricas.

A gênese de uma controvérsia científica, enfim, pode estar relacionada a diferentes fatores, como supracitado. Embora seja legítimo apontá-los, é importante frisar que não é possível ignorar a relação que existe entre estas fontes; algumas delas estão profundamente interligadas. Não há completa neutralidade na ciência. A distinção entre fatores epistêmicos e não-epistêmicos é dependente do contexto. A relevância dada a eles, bem como o que é tomado como epistêmico ou não pelos estudiosos envolvidos, muda com o tempo (BRANTE; ELZINGA, 1990). Desta forma, o início de uma controvérsia pode abranger, também, uma avaliação prévia da importância das questões levantadas e o papel que desempenham em um dado campo de conhecimento. Nesse processo, que ocorre a nível comunitário, é provável que o talento e o *status* daqueles que propõem a modificação influencie (KITCHER, 2000). Ademais, a linha demarcatória entre aspectos intra e extracientíficos pode acabar sendo implausível de ser sustentada. As controvérsias são geradas em maior ou menor medida por ambos os fatores, internos e externos. Naturalmente, cada controvérsia tem a sua peculiaridade e é possível analisá-las e estudá-las de diversas maneiras.

4.3 DISTINTAS ANÁLISES DE CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS: A COMPLEXIDADE DO TEMA

Nas últimas décadas, muitos estudiosos têm se interessado pela apreciação de controvérsias na ciência. A concepção de que em “controvérsias é onde se exerce a atividade crítica, constitui-se dialogicamente o sentido das teorias, produzem-se as mudanças e inovações, e se manifesta a racionalidade ou irracionalidade do empreendimento científico” (DASCAL, 1994, p. 78), está presente em diversas pesquisas que mostram distintas formas de se olhar para uma matéria controversa. Diversas obras, algumas delas mais expressivas citadas

a seguir, demonstram a complexidade do tema e sua infindável capacidade de trazer à tona distintos elementos do desenvolvimento da ciência.

Em “Controversies and Subjectivity”, publicado em 2005 e organizado por Pierluigi Barrotta e Marcelo Dascal, encontram-se análises de controvérsias pautadas na natureza do sujeito e sua subjetividade. Para isso, os temas envolvem múltiplas perspectivas: filosóficas, epistemológicas, psicológicas, linguísticas e históricas. A negligência das controvérsias pela filosofia da ciência, como fazia o positivismo, por exemplo, levava ao desaparecimento de uma pluralidade real e plena dos seus sujeitos que estão imersos em um ambiente social. Neste sentido, os artigos que compõem o livro suscitam questões como: Em que sentido e em que medida os ambientes sociais e suas tradições são constitutivos do sujeito? Como os aspectos sociais e psicológicos dos sujeitos envolvidos em uma polêmica interagem com fatores epistêmicos? O *ethos* da comunidade e o *pathos* dos participantes não são tão importantes quanto as normas epistemológicas para explicar a escolha de estratégias argumentativas em uma controvérsia?

Apresentando uma preocupação especialmente com aqueles debates científicos que tem sobreposições com a ética e a política, o livro “Scientific controversies: case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology” (1987), que tem por organizadores H. Tristram Engelhardt e Arthur Caplan, evidencia de que forma controvérsias com essas características são resolvidas. Portanto, avança nas análises de mudança científica em termos de seus fatores internos e externos. O segundo capítulo da obra, “Scientific controversy and its termination” (McMULLIN, 2003), supracitado na seção anterior, além de abordar discussões acerca do conceito de uma controvérsia científica e da influência de aspectos epistêmicos e não epistêmicos em seu desenrolar, exhibe uma taxonomia à luz da distinção de controvérsias de fatos, de teorias, de princípios e mistas (controvérsias que envolvem a ciência e uma questão de princípio moral ou político). Narasimhan (2001), por exemplo, discute com propriedade as colocações de McMullin.

A obra “Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives”, organizada por Peter Machamer, Marcello Pera e Aristides Baltas (2000), é dividida em duas partes. A primeira delas envolve tentativas de estruturar conceitualmente controvérsias científicas; a segunda se pauta, principalmente, na análise de alguns episódios históricos de distintas áreas científicas (biologia, química, física, medicina).

No primeiro capítulo deste livro, Kitcher (2000) argumenta que há dois modelos de análise/explicação de controvérsias científicas: o modelo racionalista (empiristas lógicos) e o

modelo anti-racionalista. Ele admite que embora as controvérsias possuam distintas origens e peculiares formas de desenvolvimento, a suas resoluções seguem, de certa forma, um padrão. Nesta linha, o autor busca responder como a prática consensual da comunidade se relaciona com as práticas individuais dos seus membros. Nesse sentido, caracteriza as controvérsias como tendo lugar em um campo de discordância em que práticas individuais alternativas competem como candidatas para a modificação da prática de consenso. Admite que as controvérsias sofrem duas influências centrais em sua origem: a avaliação prévia da importância das questões levantadas e a avaliação, a nível comunitário, do talento daqueles que propõem alguma modificação na prática de consenso. Da mesma forma, pressupõe que no meio de uma controvérsia os estudiosos se deparam com duas situações difíceis: a condição da inconsistência e a condição da explicação. As inconsistências são geradas pelo fato de que algumas reivindicações feitas são incompatíveis com outras. Já o compromisso com um esquema explicativo geral pode levar a uma reivindicação sobre o que será observado em condições específicas. A fim de clarificar essas preocupações teóricas, Kitcher explora a controvérsia entre Cavendish e Lavoisier sobre a calcinação dos metais e as originadas a partir das observações de Galileu com o telescópio.

Pera (2000), autor do terceiro capítulo, analisa controvérsias no âmbito de seus elementos retóricos e dialéticos. Ele examina de que forma uma controvérsia é resolvida e como se pode dizer que um vencedor progrediu em relação ao seu rival. O autor alega, nesse sentido, que em uma controvérsia não há árbitro, mas uma vitória dialética. Isto é, um triunfo pautado em meios argumentativos. A partir disso, Pera (2000) distingue dois fatores da dialética: i) os internos, que denotam todos os aspectos que em um dado momento são admitidos pela comunidade como pertinentes para o *diálogo* relativo a uma reivindicação cognitiva; ii) os epistêmicos, que envolvem todos os elementos que são considerados pela comunidade como relevantes para o *valor* cognitivo de uma determinada reivindicação. Em síntese, pode-se dizer que os fatores de dialética internos são intrínsecos ao diálogo ou à disputa, enquanto os epistêmicos são relevantes para o mérito da afirmação. Enfim, o autor conclui que a resolução de uma controvérsia sempre depende de um fator interno.

No quinto capítulo, Machamer (2000) discute o conceito de indivíduo e a ideia do método na filosofia natural do século XVII. A sua análise controversa se pauta na distinção entre dois egos individualistas: o epistêmico e o empreendedor.

Hacking (2000), no décimo segundo capítulo do mesmo livro, por sua vez, apresenta o que chama de ninho de controvérsias científicas à luz de exemplos do sensorial e da psicologia

popular, distinguindo-as em quatro tipos. Divergindo de Kitcher (2000) de que a resolução de controvérsias segue um padrão, Hacking argumenta, com análises da psiquiatria, que se pode pensar em uma concepção cíclica para o início, desenvolvimento e finalização de uma controvérsia. Isto é, como um espiral, elas crescem progressivamente.

Efetivamente, há distintos modos de considerar e analisar controvérsias científicas. Na perspectiva do presente artigo, cabe destacar Baltas (2000), que desenvolve uma classificação própria à luz da sua noção de “suposições de fundo” e Goodwin (2013), que sustenta uma classificação kuhniana de controvérsias científicas não-revolucionárias.

4.3.1 Baltas e as suposições de fundo: uma análise singular sobre controvérsias científicas

Baltas (2000) admite que as controvérsias científicas ocorrem quando os estudiosos não compartilham “suposições de fundo” (*background assumptions*). Suposições, em geral, incluem um amplo espectro de elementos, como preferências teóricas, valores, princípios metodológicos e ontológicos, pressuposições, etc. que integram a atividade científica. Mas elas não são explicitamente declaradas e, assim, podem estar ocultas no processo de uma controvérsia (FERREIRA, 2005). Discriminando-as em quatro níveis, o autor parte do pressuposto de que

os cientistas trabalham com um sistema conceitual constituído que não pode deixar de ser interpretado; eles pertencem a uma tradição e seguem um estilo de raciocínio; eles escolhem um programa de pesquisa – ou são forçados a participar de um (BALTAS, 2000, p. 43).

Um dos níveis é o que se refere a suposições *constitutivas*. Elas são fundamentais na geração de um sistema conceitual científico, tendo, entre outras funções, o papel de assegurar a sua coerência e identidade. Os pressupostos envolvidos nos conceitos de espaço e tempo são constitutivos da mecânica newtoniana, por exemplo.

As suposições de fundo *interpretativas* determinam a forma como um sistema conceitual é naturalmente interpretado quando estabelecido pela primeira vez. Mostram “que a capacidade de reconhecer cognitivamente fenômenos que até então eram totalmente inexplicáveis em seus termos, é inerente ao próprio sistema” (BALTAS, 2000, 43). Como exemplo o autor cita Freudenthal (1986), que analisa as discussões de Newton e Leibniz acerca do conceito de espaço absoluto, investigando se elas divergem, sobretudo, pelo preconceito inicial de Leibniz às visões metafísicas newtonianas.

As premissas que determinam as tradições científicas particulares que os estudiosos tendem a seguir são classificadas como suposições de *participação*. Inseridos em padrões empiristas, alguns estudiosos podem ser induzidos a não reconhecerem ou valorizarem resultados teóricos em seu trabalho. O caso antagônico, em que investigadores estão imersos em uma tradição “racionalista” e, por isso, ignoram resultados experimentais que poderiam ser relevantes à pesquisa, é igualmente válido a título de exemplo.

O último nível diz respeito às suposições de *preferência*. Eles envolvem os critérios de escolha empregados pelos estudiosos ao programa de pesquisa em que vão trabalhar, dentre as alternativas disponíveis. Por exemplo, a proposta de Geoffrey Chew sobre a "democracia" das partículas, atraiu muitos físicos de alta energia no final da década de 1960, sobretudo aqueles que procuravam dar sentido à proliferação de partículas elementares com base nos esquemas tradicionais de "blocos de construção".

Essas suposições de fundo são essenciais, de acordo com Baltas, para uma classificação de controvérsias científicas, pois elas são elementos constituintes de sua dinâmica. O que se espera, na ocorrência de uma controvérsia, é que um dos lados envolvidos apresente algo novo que resolva, ou busque resolver, a disputa. Neste caso, traz-se à tona uma suposição de fundo silenciada até então. “Uma vez que os pressupostos interpretativos não compartilhados são revelados, no decurso de uma controvérsia, um novo resultado científico deve ser estabelecido, resultando em um acordo epistêmico” (FERREIRA, 2005, p. 121). Não obstante, uma das partes que integra a querela pode não reconhecer o novo achado ou a sua relevância; não havendo assim concordância, a controvérsia continua. Desta forma, o nível e o papel que uma suposição de fundo desempenha só podem ser determinados em retrospectiva, depois de a suposição ser revelada e de se entender o seu real impacto.

Estabelecidos os distintos níveis das suposições de fundo, Baltas alega que as controvérsias podem, de acordo com eles, ser classificadas em três tipos. Nas *controvérsias superficiais*, há compartilhamento, por parte dos estudiosos envolvidos, de suposições constitutivas e interpretativas. Nesses casos, inexistente “incomensurabilidade⁴¹ de qualquer tipo, e o desentendimento não destrói a comunicação. Cada parte compreende quase perfeitamente o que a outra está fazendo e o porquê de estar fazendo” (BALDAS, 2000, p. 46). A discordância não envolve, necessariamente, os componentes de um conceito, mas o tipo de raciocínio, os interesses pessoais, as preferências sociais, que o delimita (LIMA, 2014). Como exemplo, pode-

⁴¹ O autor utiliza o termo fazendo menção à concepção kuhniana de incomensurabilidade.

se citar a controvérsia entre os proponentes de um modelo cosmológico estável e os defensores da ideia de um universo em expansão.

De forma divergente, há as *controvérsias decisivas* em que se compartilham as suposições constitutivas, mas nem todas as interpretativas. Aqui a incomensurabilidade e a comunicação se tornam fatores problemáticos na medida em que o sistema conceitual não está suficientemente desenvolvido. Um exemplo é a querela entre Einstein e Bohr sobre a interpretação do formalismo da mecânica quântica.

Por último, tem-se as *controvérsias profundas*. Neste caso, nenhuma suposição de fundo é compartilhada; o desacordo é pleno (LIMA, 2014.). Elas comportam duas subcategorias. Uma delas envolve pressupostos que asseguram a coerência e determinam a identidade de um sistema conceitual que já está bem constituído dentro de uma ciência existente. Há incomensurabilidade, problemas na comunicação. Os proponentes da nova física quântica e os da mecânica clássica são exemplos desse tipo. A segunda subcategoria dessa controvérsia compreende aquelas que ocorrem quando a própria perspectiva que define uma ciência está em processo de ser esculpida. As suposições envolvidas são aquelas que determinam a identidade e asseguram a coerência das antigas teorias que o novo sistema conceitual desafia. Baltas cita a disputa de Galileu com os aristotélicos, o debate Galvani-Volta e o embate entre Lavoisier e Priestley.

Obviamente controvérsias profundas são as mais significativas do ponto de vista cognitivo. Tratam-se de processos revolucionários, cuja tarefa é o estabelecimento de um sistema conceitual radicalmente novo (...). Inaugura uma nova ciência e, portanto, abre uma perspectiva totalmente nova sobre o mundo, ou desafia uma teoria altamente confirmada dentro dos limites de uma ciência já existente (BALTAS, 2000, p. 48).

Para Goodwin (2013) essa classificação de controvérsias científicas, grosseiramente, apresenta sobreposições com uma possível classificação kuhniana de controvérsias. Contudo, enquanto Baltas pensa em seu conteúdo em termos de suposições de fundo, Kuhn se refere a exemplares e analogias. Ademais, este último dá maior ênfase para a dimensão social do desenvolvimento científico.

4.3.2 Controvérsias científicas não-revolucionárias, segundo Goodwin

Goodwin (2013) sustenta que a concepção de ciência evidenciada por Kuhn em “A estrutura das revoluções científicas” (KUHN, 2011), publicada em 1962, apoia uma análise de, pelo menos, dois tipos de controvérsias não-revolucionárias. Isto é, controvérsias em que

estudiosos que pertencem a uma mesma tradição científica apresentam um desacordo persistente sobre uma determinada questão que resiste à resolução pelos meios padrões aceitos no paradigma.

Após ter utilizado o termo paradigma de vinte e uma⁴² formas distintas ao longo de sua obra (MASTERMAN, 1979), e de ter recebido severas críticas por isso, no posfácio, de 1969, Kuhn esclarece o seu significado. Para o filósofo, a expressão paradigma tem dois usos distintos; um mais global e outro mais restrito. O primeiro emprego do termo, refere-se a todo um conjunto de compromissos de pesquisa de uma comunidade científica, que engloba generalizações simbólicas, modelos, valores e exemplares⁴³. Paradigmas enquanto exemplos compartilhados, uma segunda forma de aplicação do termo, dizem respeito ao “conhecimento da natureza que se adquire ao compreender a relação de semelhança, conhecimento que se encarna numa maneira de ver as situações físicas e não em leis ou regras gerais” (KUHN, 2011, p. 238).

Na ciência, muitos estudiosos ao compartilharem um mesmo paradigma e se depararem com um fenômeno novo tendem, normalmente, a acomodá-lo dentro do paradigma aceito, apresentando e defendendo articulações junto ao mesmo. Não obstante, as distintas tentativas de relacionar um fenômeno recentemente reconhecido a um exemplar já existente podem envolver discordâncias. Aqui reside o primeiro tipo de controvérsia salientada por Goodwin. Elas podem abranger tanto discórdias acerca da existência ou não de semelhanças entre algum exemplar do paradigma e o novo caso em análise, quanto debates em torno de qual exemplar, caso ele exista, deve ser utilizado como modelo para a compreensão do novo fenômeno. Ademais, mesmo que haja concordância quanto ao mais apropriado modelo, sua aplicação pode ser ambígua.

As controvérsias não revolucionárias podem implicar, ainda, como um segundo tipo, em desentendimentos que ocorrem quando estudiosos que compartilham o mesmo paradigma começam a identificar falhas ou anomalias na sua capacidade de resolução de problemas. A

⁴² Kuhn acusa, posteriormente, vinte e dois sentidos.

⁴³ As generalizações simbólicas remetem às expressões empregadas sem discussão ou dissensão pela comunidade científica. Isto é, pontos de apoio essenciais para os problemas que a comunidade se propõe a investigar. Os modelos fornecem à comunidade as analogias e metáforas aceitáveis. Os valores mostram-se particularmente úteis na avaliação das crises e julgamentos de formas incompatíveis de ver o mundo, de praticar uma ciência. Eles contribuem para proporcionar aos especialistas em ciências naturais um sentimento de pertencem a uma comunidade global. Kuhn cita alguns deles: precisão, consistência interna e externa, amplitude de aplicação, simplicidade e fertilidade. Os exemplares são as soluções concretas de problemas que os estudantes/cientistas encontram desde o início de sua educação científica, seja nos laboratórios, exames ou fim dos capítulos dos manuais científicos. As soluções desses exemplares indicam como o cientista deve realizar seu trabalho.

princípio, busca-se solucionar a questão à luz de resultados já estabelecidos pelo paradigma. Não encontrando soluções por essa via, os estudiosos tendem a afastar-se cada vez mais de seus modelos orientadores. Em função disso, os conflitos podem ser classificados de acordo com os elementos da matriz disciplinar que estão em disputa. Alguns estudiosos, por exemplo, podem abandonar ou reinterpretar uma generalização simbólica, enquanto outros se preocupam com os valores. Por fim, cada grupo envolvido, empenhando-se para preservar a essência do paradigma, ou o que avaliam ser a base do mesmo, pode negar ou modificar os seus exemplares considerados menos primordiais.

Embora Kuhn não se debruce em discussões sobre controvérsias, ele caracteriza distintos desacordos que ocorrem na ciência. “O que está em jogo nesses debates é o curso futuro de um campo científico” (GOODWIN, 2013, p. 104). Por certo, como afirma Goodwin (2013), Baltas tem razão em seu argumento de que a atenção demasiadamente dada pelos filósofos às revoluções na obra de Kuhn obscureceu a análise de controvérsias não-revolucionárias. Cabe ressaltar, contudo, que Kuhn, de forma sucinta e bastante abstrata, apenas caracteriza e fornece exemplos de alguns desses desentendimentos, como quando discute a teoria do calórico ou a modificação da teoria do flogisto para se ajustar às novas observações experimentais.

4.4 CONTROVÉRSIAS *ANALÍTICAS*, *RESISTIVAS* E *ARGUMENTATIVAS*: UMA CLASSIFICAÇÃO

Considerando-se que há distintas maneiras de analisar e classificar controvérsias científicas, discute-se a seguir certos desacordos que ocorrem na ciência tanto em períodos onde existe uma efervescência teórica quanto naqueles em que há um corpo teórico hegemônico. Empregando-se concepções kuhnianas e baseando-se nas controvérsias apresentadas por Baltas e no ensaio de Goodwin, caracteriza-se três tipos de controvérsias científicas: *analíticas*, *resistivas* e *argumentativas*. Essas categorias, longe de esgotar ou tentar restringir o escopo de um tema complexo, visam ressaltar peculiaridades de certas controvérsias, vinculando-as a exemplos históricos, na perspectiva de sua introdução e discussão na educação científica.

O estudo de controvérsias científicas não dissociadas da história da ciência, no ensino, pode propiciar, além da compreensão de conceitos científicos, a problematização de asserções relativas à Natureza da Ciência (PEDUZZI; RAICIK, 2017), como as que envolvem a neutralidade, a linearidade, a seletividade das observações, o papel dos experimentos, a

dinâmica entre hipótese e experimentação, o significado de experimentos cruciais, o reconhecimento das influências filosóficas, religiosas, culturais, éticas do investigador em uma pesquisa científica, a inexistência de um método único e infalível, etc. Auxiliam, inclusive, na prática de respeitar e analisar argumentos divergentes e evitam a doutrinação de uma singular hipótese, ideia, forma de pensar (BULLA, 2016).

Conjuntamente a isto, como ressalta Reis (2009), no ensino pouco se recorre às controvérsias para promover o desenvolvimento de conhecimentos, capacidades e atitudes considerados importantes para a cidadania. Assim, a ciência acaba sendo apresentada, nesse meio, como incontroversa e isenta de valores.

4.4.1 Controvérsias analíticas

Nas *controvérsias analíticas*, há escolas em competição. Isto é, não havendo consenso em termos teóricos, empíricos, metodológicos, instrumentais... para o entendimento de um certo fenômeno, diferentes teorias são formuladas e concorrem entre si neste período que se pode denominar de pré-paradigmático. Com o passar do tempo, um dos referenciais teóricos emergentes acaba proporcionando uma reconhecida⁴⁴ e original solução. O consenso demanda tempo, mas a sua aceitação traz à cena um paradigma e, com ele, a promessa de tempos mais serenos na investigação científica. Reside aqui uma das maiores contribuições/impactos de controvérsias desse tipo para a ciência: o aflorar de um paradigma. A controvérsia da eletricidade animal, entre Galvani e Volta, e o debate em torno da teoria das cores de Newton são exemplos de controvérsias analíticas.

Os estudos de Newton na óptica, sobretudo o seu primeiro artigo “Nova teoria sobre luz e cores”, publicado na *Philosophical Transactions* da Royal Society em 1672, provocaram muitos desacordos entre seus contemporâneos. Nesse trabalho ele relata os resultados de vários anos de investigação explicando o fenômeno da formação das cores devido à refração de forma distinta das teorias até então apresentadas. No âmbito de um período pré-paradigmático, Newton apresenta uma explicação que difere das concepções que tinham por base a modificação da luz (branca, considerada até então homogênea,) ao passar por um meio transparente, como prismas e esferas cristalinas ocas com água, provocando assim reações impetuosas. Em períodos como esse, “diferentes indivíduos ou grupos de indivíduos

⁴⁴ A maneira como a comunidade, ou os seus sujeitos, fazem as escolhas teóricas é peculiar e complexa, não sendo objeto de estudo neste artigo.

confrontados com a mesma classe de fenômenos dão a eles explicações distintas, orientados por pressupostos teóricos incompatíveis entre si” (PEDUZZI, 2006, p. 65). O desacordo, então, é eminente.

O ponto primordial dos estudos de Newton é a observação, e questionamento, da forma oblonga do espectro da luz (branca) ao ser refratada por um prisma. A lei da refração de Descartes previa uma mancha circular e não alongada. Newton desenvolve, então, uma série de experimentos para compreender este fenômeno, sempre dialogados com suas hipóteses. A um desses experimentos, no qual conclui que a forma oblonga do espectro podia ser explicada como uma superposição de manchas circulares, deslocadas uma em relação a outra de acordo com o índice de refração da cor, ele chama de *crucial*. Apesar do apelo retórico utilizado por Newton, esse experimento não foi assim entendido pelos seus opositores, especialmente por Robert Hooke, o que evidencia a incongruência em se admitir que experimentos ditos cruciais possam resolver disputas de forma imediata e incontestável (HODSON, 1988; SILVA; MARTINS, 1996; MARTINS; SILVA, 2015; RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017)

Apesar de muitos estudiosos terem considerado o “trabalho de Newton dramático e convincente” e assumirem que ele era uma “maravilha de engenhosidade e o melhor instrutor de novos esclarecimentos” (SCHAFFER, 2002, p. 257), a reação ao seu primeiro artigo foi contundente. Muitos críticos contestaram a autoridade atribuída por Newton ao experimento crucial que, a princípio, dispensaria a realização de um número expressivo de experimentos, como era de costume. Ao tentarem reproduzir o experimento newtoniano alguns estudiosos não obtiveram sucesso ou encontraram resultados distintos daqueles descritos por Newton, como aconteceu com o jesuíta Anthony Lucas. Neste caso, a controvérsia demonstra ter como problema central a replicação e instrumentação empregada pelo jesuíta. A qualidade e a forma dos prismas utilizados eram de extrema relevância para o sucesso do experimento. Além disso, Newton alegou que o experimento de Lucas era apenas um variante do experimento crucial, e não o próprio experimento por ele descrito, desacreditando incisivamente da versão lucasiana (SHAFFER, 2002).

Com efeito, um experimento, ou um conjunto deles, pode ser explicado à luz de diferentes construções teóricas. Resultados experimentais podem adquirir significados distintos, dependendo do ponto de vista conceitual sob os quais são analisados. Inclusive, para poder justificar suas afirmações, Newton desenvolve uma complexa argumentação utilizando, além de experimentos, constructos teóricos e epistemológicos. Ou seja, a ideia de um

experimento definidor e incontestável para a aceitação de uma teoria, mostra-se, nesse caso, uma ilusão.

Não apresentando objeções às observações feitas por Newton – conseguindo a reprodutibilidade do experimento –, mas condenando veementemente a concepção corpuscular da luz que admite estar implícita na sua teoria, Hooke inicia um longo desacordo com a noção newtoniana. No que lhe diz respeito, Newton objeta vigorosamente esta alegação afirmando que a sua teoria das cores:

(...) provava a heterogeneidade da luz, à qual constituía sua afirmação central com base nos experimentos, e ele via a heterogeneidade como um fato comprovado. Qualquer teoria da luz teria de se adaptar à heterogeneidade, que era tão compatível com a teoria ondulatória quanto com a teoria corpuscular. Nessa disputa, a lógica certamente ficou ao lado de Newton, e a história posterior da óptica confirmou suas ideias (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 213).

Sucintamente, pode-se dizer que a controvérsia Newton-Hooke tem caráter essencialmente epistemológico. Aqui, o confronto se detém nas distintas formas de conceber o conhecimento científico. Hooke rebaixa a teoria newtoniana a uma simples hipótese. Para ele, todas as constatações experimentais poderiam ser explicadas à luz de sua teoria: a saber, que a luz era um pulso ou uma onda, gerada por movimentos vibratórios muito rápidos, de pequenas amplitudes, da parte dos corpos luminosos. Assim, a “hipótese” newtoniana era dispensável. Newton, contudo, busca estabelecer, a partir da experiência, proposições acerca da luz e das cores. Proposições estas que, segundo ele, não eram hipóteses, mas fatos. Não obstante, “aos olhos de Hooke, e de muitos de seus contemporâneos, as pretensões de certeza de Newton eram um sintoma de um dogmatismo inaceitável segundo os cânones de uma nova ciência” (GRANÉS, 2005, p. 144).

Somente após a morte de Hooke, em concomitância com o seu cargo de presidente da Royal Society em 1703 e da publicação da Óptica em 1704, é que Newton afirma contundentemente que qualquer experimento de óptica, se executado com os prismas certos, asseguraria a veracidade de sua doutrina.

Essa foi uma conquista de Newton e seus aliados. E exigiu uma reconstrução do registro das controvérsias da óptica. Essa reconstrução implicou a exposição pública de novas técnicas prismáticas e uma reinterpretação das falhas anteriores na reprodução das afirmações de Newton. À medida que ele passou a controlar os recursos da filosofia experimental, a óptica newtoniana adquiriu uma história disciplinar e uma tecnologia padronizada (...) Uma vez obtido o consenso local na Sociedade e junto a seu público na França, Itália e Holanda, com respeito à doutrina da imutabilidade da cor, foi possível definir bons prismas como sendo aqueles que exibiam esse resultado. A natureza localizada e tênue desse consenso foi demonstrada em discussões posteriores com experimentadores europeus (SCHAFFER, 2002, p. 263-264, 268).

Por fim, a nova teoria de Newton, origina-se da descoberta de que nenhuma das teorias pré-paradigmáticas existentes explicava a forma oblonga do espectro (KUHN, 2011). Nesse percurso, no entanto, vários foram os elementos que entraram em debate; os instrumentos, a metodologia de pesquisa e de divulgação empregados, a concepção filosófica experimental, o fato em si, isto é, o resultado dos experimentos, a própria teoria. Com efeito, a experiência não atuou como um árbitro imparcial da controvérsia.

4.4.2 Controvérsias resistivas: plurais e céticas

Controvérsias resistivas são aquelas relacionadas a um fenômeno novo que contraria expectativas do paradigma aceito pela comunidade científica. Imersa em pressupostos bem estabelecidos, parte da comunidade questiona o fenômeno. Este tipo de controvérsia comporta duas naturezas: plurais e céticas. Nas *controvérsias resistivas plurais* o embate ocorre entre uma (ou mais) teoria nova e o paradigma aceito, que procura criar condições em seu próprio meio para explicar o fenômeno (mediante hipóteses *ad-hoc*, por exemplo). As *controvérsias resistivas céticas* ocorrem quando o paradigma aceito não consegue explicar o fenômeno novo, mas não há necessariamente uma nova teoria que o explique. Ou, quando o paradigma consegue explicar o fenômeno teoricamente, mas não o reconhece, ainda, empiricamente (como no caso da fusão a frio). O confronto se dá em torno do paradigma e da credibilidade (fidedignidade) do componente empírico, em termos da coerência de seus dados, sua estrutura, sua precisão.

As observações de Galileu com o telescópio desencadearam distintas controvérsias, consideradas resistivas plurais. A sua discussão com Christopher Scheiner sobre as manchas solares, é parte de um debate mais amplo em torno da imutabilidade ou não do céu aristotélico.

A filosofia aristotélica, que reinou por séculos, sustentava a não mutabilidade e a perfeição do mundo supralunar. Conquanto, novas evidências trazidas por observações celestes começaram, ainda que de forma comedida, a revelar mudanças no (suposto) céu incorruptível. A nova registrada por Tycho Brahe em 1572, sem paralaxe mensurável, atesta isso. Bem antes, Nicolau de Cusa já havia defendido, embora por vias puramente especulativas, que a Terra não era o único astro passível de corrupção e mudança.

É nesse contexto, confrontando de forma impactante o paradigma aristotélico, que Galileu alegou que a quimera de um céu imutável parecia existir apenas na crença infundada daqueles que se recusavam a olhar para as então evidências trazidas pelo telescópio. A nova

epopeia celeste incluía estrelas que nunca havia se visto, irregularidades na superfície lunar, satélites em Júpiter, “protuberâncias” em Saturno, fases em Vênus, manchas no Sol.

As novas observações traziam consigo a relutância de muitos estudiosos que não aceitavam passivamente evidências que destoavam de suas arraigadas concepções. Ademais, elas eram provenientes de um instrumento que não possuía uma explicação teórica. A Lua impecável (lisa, uniforme, globular), por exemplo, passou a ter irregularidades vistas por suas cavidades e saliências. Com espanto e incredulidade, aristotélicos como Ludovico delle Colombe buscaram manter intacta a concepção milenar, admitindo que a Lua estaria revestida por um cristal transparente onde se encontrariam as deformidades, como montanhas e vales, que Galileu alegou estarem na superfície do astro (PEDUZZI, 2016).

Entretanto, as evidências do telescópio eram tão fascinantes e perturbadoras que alguns ferrenhos defensores do geocentrismo foram obrigados a se curvarem a elas, depois de olharem através das lentes desse revolucionário instrumento, suplantando convicções filosóficas que poderiam fazê-los rejeitar, por definição, aqueles descobrimentos (PEDUZZI, 2016, p. 137).

Analisando atenta e periodicamente as manchas solares, que ao telescópio se mostravam em movimento, Galileu concluiu que o Sol gira sobre si mesmo e calculou a velocidade de sua rotação. Isto é, ele sustentou que as manchas eram de fato um fenômeno solar. Para Galileu, esses registros, e os demais, eram não apenas aceitáveis, como coerentes com uma nova maneira de se compreender o universo. Contudo, aqueles que se propuseram a olhar pelo telescópio apresentavam, devido as suas concepções teóricas, filosóficas e teológicas, divergentes interpretações em relação a isso, como o jesuíta Christopher Scheiner.

Scheiner argumentou que as manchas eram devidas a determinados objetos/corpos que se interpunham entre o observador e o Sol. A disparidade nas explicações pautava-se, sobretudo, na concepção filosófica de Scheiner; adepto da filosofia aristotélica que não podia admitir perturbações no Sol. Parecia mais coerente, para o jesuíta, “salvar” a concepção aristotélica aceitando que corpos se colocavam à frente do Sol, do que admitir que aquela região perfeita era passível de corruptibilidade. Com efeito, a visão de que fatos são fontes de imparcialidade não pode ser sustentada. Os dados, *per si*, como as manchas que foram observadas, não geram teorias, pois toda observação é feita à luz de determinados pressupostos. A controvérsia envolve, além da confiabilidade instrumental, esquemas conceituais e filosóficos que atuam fortemente nas observações e interpretações elaboradas. Às vezes, e como pode ocorrer em controvérsias resistivas, certos pressupostos encontram-se tão profundamente arraigados a convicções teóricas que muitos cientistas têm dificuldades, e por vezes se recusam,

a abandoná-los, mesmo sob forte evidência empírica contrária a sua sustentação (PEDUZZI; RAICIK, 2017).

O caso de Lavoisier e a teoria do flogisto na química também exemplifica uma controvérsia resistiva plural. Aqui, pode-se analisá-la não necessariamente recorrendo-se a dois personagens, mas aos estudos de um investigador (Lavoisier) e as concepções de um grupo contrário a ele (defensores do flogisto). No século XVIII, havia uma preocupação relevante em se esclarecer o aumento de peso dos metais depois de sua calcinação. Para alguns estudiosos, a teoria flogística, que admitia que no processo de queima de um material o flogisto seria liberado para o ar, poderia ser modificada a fim de explicar o fenômeno, sem que ela precisasse ser abandonada; o flogisto poderia ter peso negativo, por exemplo. Distintas versões da teoria foram elaboradas (TOULMIN, 1957). “Embora ainda fosse considerado e aceito como um instrumento de trabalho útil, o paradigma da química do século XVIII estava perdendo gradualmente seu *status* ímpar” (KUHN, 2011, p. 100)⁴⁵. O trabalho de Lavoisier, circundado em uma intensa controvérsia – que envolve, inclusive, a descoberta do oxigênio –, acaba evidenciando que o flogisto não existe. A oxidação de um metal não está relacionada à perda de flogisto pelo metal, mas à sua combinação química com o oxigênio. A história é complexa. Apesar de a teoria do flogisto ser considerada, inclusive por Kuhn, como um paradigma, o contexto da descoberta do oxigênio (MARTINS, 2009) envolve um período que se poderia classificar como pré-paradigmático, e assim, ao menos, parte da controvérsia poderia ser classificada como analítica. Nesse sentido, uma análise histórica com enfoque específico no embate entre Lavoisier e Priestley poderá evidenciar isso.

Um episódio histórico mais recente pode exemplificar as controvérsias resistivas céticas: a controversa fusão a frio. Em 1989 Martin Fleischmann e Stanley Pons afirmaram ter descoberto a fusão a frio com um aparelho extremamente simples: uma “célula” de eletrólise com água pesada – deutério – e com eletrodo de paládio. Depois de décadas e investimentos tentando controlar a fusão a quente, um experimento simples, barato e que produzia fusão nuclear a temperatura ambiente parecia, de fato, inacreditável na ciência. Sem dúvida isso escandalizou a sociedade científica que logo se propôs a replicar o experimento. “A ciência não havia visto nada igual; nem tampouco a imprensa mundial que, continuamente, divulgava novos achados e versões atualizadas do andamento das coisas” (COLLINS; PINCH, 2010, p. 73).

Os resultados encontrados por outros estudiosos com a reprodutibilidade do experimento foram os mais diversos. Alguns dos que apontaram resultados inicialmente

⁴⁵ Sugere-se a leitura de Maar (1999).

positivos, logo constataram erros em seus dispositivos. Além disso, ainda que se encontrassem efeitos favoráveis à fusão, a sua incidência era efêmera em relação àquela alegada por Pons e Fleischmann. Assim, restava a eles mais críticas negativas do que, necessariamente, algum crédito. Eles foram repreendidos por não divulgarem, a princípio, detalhes do experimento; o tamanho dos eletrodos utilizados, a densidade da corrente aplicada, o tempo de espera para o resultado eram incógnitas para muitos. A desconfiança da comunidade ensejou que fossem acusados de incompetentes, de terem realizado medidas erroneamente. Para que a fusão ocorresse deveriam ser constatados excedentes de calor e subprodutos nucleares (nêutrons, por exemplo) da reação. Contudo, as primeiras medições de Pons e Fleischmann eram grosseiras, com resultados relativamente inacreditáveis (absurdos). Foram seus resultados que geraram propriamente a controvérsia sobre a fusão a frio.

Ao tentar 'jogar limpo' sobre as dificuldades de interpretar seus dados nucleares, Pons e Fleischmann estavam tentando chamar a atenção de volta para o ponto central da argumentação de ambos – as medições de excedente de calor (...). O problema foi que, para muitos físicos, os dados nucleares é que haviam despertado o interesse em primeiro lugar e, em vista da frágil evidência sobre os nêutrons, os resultados calorimétricos sobravam como meras anomalias, possivelmente de ordem química (COLLINS; PINCH, 2010, p. 97-98).

Desta forma, o ceticismo e a desconfiança começaram a reinar na comunidade científica. Teoricamente, a fusão a frio era possível. Mas o experimento de Pons e Fleischmann estava longe de ser reconhecido e tomado como uma evidência clara de fusão. As tentativas falhas de replicabilidade, as técnicas utilizadas com o experimento, a credibilidade dos autores, por serem eletroquímicos, e não físicos nucleares, a falta de base teórica para a utilização do paládio, a falta de *expertise* na medição de nêutrons, foram algumas das questões que levaram a comunidade a acreditar, cada vez mais, na impossibilidade de a fusão a frio ter ocorrido empiricamente, nos termos apresentados.

4.4.3 Controvérsias argumentativas

Nas *controvérsias argumentativas* a querela se dá em termos essencialmente teóricos, o componente empírico não está no centro da disputa. Normalmente, essas controvérsias são interparadigmáticas, mas também compreendem disputas pela reivindicação de alguma descoberta. Elas podem envolver, em maior ou menor grau, tanto aspectos externos à ciência quanto serem, eminentemente, internalistas. As primeiras levam o debate a níveis políticos,

econômicos, religiosos. Aquelas mais internas se limitam à análise do conhecimento científico envolvido; podem não afetar, necessária e prontamente, aspectos extracientíficos.

A controvérsia Newton-Leibniz, sobre a prioridade da invenção do cálculo diferencial e integral, pode ser considerada um dos primeiros grandes debates da ciência moderna. Eles travaram uma disputa feroz pela primazia da descoberta (COHEN; WESTFALL, 2002). A controvérsia tem como pontos centrais a incógnita de quem foi o primeiro a descobrir o cálculo, se ele foi descoberto por ambos de forma independente ou, ainda, se houve plágio de algum dos estudiosos. Ao longo dos anos polêmicos inúmeros estudiosos se envolvem no debate, de forma direta ou indireta, entre eles John Wallis, Fatio de Dullier, John Craig, David Gregory, Thomas Burnet, Christian Wolff, Pierre Varignon (WESTFALL, 1995; ECHEVERRÍA, 2003). Valores de prioridade, honestidade, originalidade, prestígio tomaram conta da querela.

Leibniz foi acusado de plágio quando em 1684 decide publicar seu artigo sobre o cálculo sem mencionar os trabalhos de Newton. Ele conhecia os avanços de Newton nessa matéria que, em 1675 e 1676, dirigiu cartas a Leibniz, através de Henry Oldenburg, então secretário da Royal Society, comunicando os princípios de seu cálculo de fluxões.

A disputa começa a ficar acirrada quando Leibniz, em 1711, envia uma carta à Royal Society protestando a acusação de John Keill o qual, em um artigo sobre forças centrífugas publicado em 1709, diz que:

Todas estas [proposições] decorrem da hoje altamente celebrada aritmética das fluxões, que o Sr. Newton, sem sombra de dúvida, foi o primeiro a inventar, como poderá facilmente determinar qualquer um que leia suas cartas publicadas por Wallis; essa mesma aritmética, entretanto, com um nome diferente e usando uma notação diferente, foi posteriormente publicada nas Acta Eruditorum pelo sr. Leibniz (WESTFALL, 1995, p. 278).

Leibniz exige, reivindicando inocência, uma retratação de Keill. Diante de réplicas e tréplicas, uma comissão constituída pela Royal Society é formada para examinar cartas e documentos referentes ao assunto. A comissão foi, nitidamente, partidária de Newton; não surpreende, assim, que ela tenha dado ganho de causa a ele.

Aqui se vê claramente como aspectos subjetivos e políticos também estão presentes em controvérsias argumentativas. Elementos externalistas, que não envolvem o conhecimento científico em si, fazem parte do contexto de desenvolvimento da trama na ciência. Como ressalta Westfall (1995), fazendo menção a um escrito de Keill:

O método diferencial é um e o mesmo que o método das fluxões, excetuando-se o nome e o estilo de notação (...) e, por conseguinte, consideramos que a questão apropriada é, não quem inventou este ou aquele método, mas quem foi o primeiro inventor do método, e cremos que os que reputaram o sr. Leibniz como o primeiro inventor tinham pouco ou nenhum conhecimento de sua correspondência com o sr.

Collins e o sr. Oldenburg, muito anterior, nem de que o Sr. Newton dispunha desse método mais de quinze anos antes (WESTFALL, 1995, p. 283).

Newton inventa o método das fluxões entre 1666 e 1669 e o publica em 1704. Como resultado de seus próprios estudos independentes, Leibniz desenvolve o cálculo diferencial, publicando seus estudos em 1684 (ECHEVERRÍA, 2003). As descobertas seguiram caminhos distintos, tanto em termos conceituais quanto metodológicos. Analisar esse episódio em retrospectiva, com efeito, evidencia que de fato as descobertas foram independentes e que Leibniz é “inocente”. Conquanto, suas entrelinhas mostram nitidamente um jogo controverso que se fez valer do *status* de cada oponente e sua influência na comunidade.

No século XVI, Copérnico, ao propor o seu sistema, também se envolve em uma controvérsia que abala o cânone da astronomia que reinava hegemônica desde o século II: o sistema ptolomaico. Na astronomia de Ptolomeu, a Terra é imóvel e centro do universo. Os artificios matemáticos de seu sistema, não tendo compromisso com a realidade física,

‘salvavam as aparências’ com razoável precisão. Mesmo contrapondo-se a astronomia realista de Aristóteles, “os rumos que a astronomia toma sob essa filosofia contribuem, curiosa e decisivamente, para realçar a dicotomia entre o céu e a Terra, tão acentuadamente enfatizada na filosofia aristotélica (PEDUZZI, 2016, p. 36).

Copérnico, mesmo usando vários artificios matemáticos da astronomia ptolomaica, sustenta que o Sol, e não a Terra, é o ‘centro’ do universo⁴⁶:

Quem, com efeito, nesse esplêndido templo colocaria a luz em lugar diferente ou melhor do que aquele de onde pudesse iluminar ao mesmo tempo todo o templo? Portanto, não é impropriamente que certas pessoas chamam-no de lâmpada do mundo, outros de sua mente, outros de seu governante (COPÉRNICO, 2009, p. 68-69).

Isto revela um claro rompimento com a evidência dos sentidos e com o dogma aristotélico de que a Terra é imóvel e centro do mundo. Cabe ressaltar, todavia, que tanto no sistema aristotélico quanto no sistema ptolomaico a Terra ocupa a posição central, mas é somente no sistema aristotélico que a Terra é centro de todos os movimentos. Por que então a comunidade científica deveria aderir a um novo paradigma? Kuhn (1979) destaca que a astronomia ptolomaica já vinha fracassando em suas aplicações, apresentando anomalias (MOSCHETTI, 2004). Apesar de os dados observacionais do sistema ptolomaico serem compatíveis, ao menos em proporções idênticas, ao copernicano, reconhecer e aceitar um novo sistema astronômico matematicamente formulado, concebido sobre novas bases era uma

⁴⁶ Na verdade, no sistema copernicano a Terra e os demais planetas não se movem à volta do Sol, mas sim em relação a um ponto muito próximo a ele – o centro da órbita da Terra.

maneira de solucionar problemas não resolvidos pelo paradigma anterior. Como o próprio Kuhn (2011) sinaliza, “quando se trata de uma teoria científica, ser admiravelmente bem-sucedida não é a mesma coisa que ser totalmente bem-sucedida” (p. 96).

O sistema ptolomaico necessita do equante, um artifício matemático que para Copérnico inviabiliza o princípio platônico da uniformidade do movimento circular.

Assim, o primeiro impulso de Copérnico para reformar o sistema ptolomaico se originou do desejo de remover dele um erro de menor importância, uma coisa que se não conformava estritamente aos princípios conservadores de Aristóteles (KOESTLER, 1989, p. 136).

Cabe ressaltar que, exceto pelo equante, Copérnico, como já foi mencionado, vale-se das mesmas técnicas e dispositivos matemáticos que os usados por Ptolomeu.

Decerto, o rompimento com um conhecimento estabelecido nem sempre se dá sem questionamentos e resistências. Copérnico sofre acusações que envolvem tanto fatores epistêmicos, no que se refere a problemas de ordem física e astronômica, como aqueles não-epistêmicos, sobretudo, com a oposição da Igreja à sua concepção de retirar o homem do centro do universo. Neste caso, os fatores alheios à ciência desempenham um papel particularmente importante (KUHN, 2011). Isto fez Copérnico relutar em anunciar a sua obra seminal, o “*De revolutionibus orbium caelestium*”.

Não obstante, a obra foi publicada em 1543 e o seu prefácio, escrito por Andreas Osiander, contribuiu decisivamente para que ela não desencadeasse um conflito avassalador, naquele momento, com a Igreja⁴⁷. Não há consenso sobre se Copérnico concordou ou mesmo se chegou a ler o prefácio. O certo é que ele coloca a teoria copernicana nos limites de uma astronomia matemática, sem compromisso com a realidade física. Em um trecho do “épico” prefácio, Osiander explicita que

Os aristotélicos e os teólogos serão facilmente aplacados se souberem que várias hipóteses podem ser usadas para explicar os mesmos movimentos aparentes, e que estas hipóteses não são propostas por serem realmente verdadeiras, mas por serem as mais convenientes no cálculo dos aparentes movimentos compostos (KOESTLER, 1989, p. 112).

Todavia, Copérnico pensa a mobilidade da Terra e estabilidade do Sol como uma realidade genuína na ciência (PEDUZZI, 2016). Este episódio abrange, assim, uma controvérsia de cunho epistemológico entre a astronomia matemática e a astronomia física (e com ela a

⁴⁷ “Vale observar que o *De revolutionibus* só foi posto no Index dos livros proibidos pela Igreja Católica em 1616, depois da publicação da “Astronomia nova” de Kepler (em 1609) e da carta que Galileu endereçou à Duquesa Cristina de Médici (em 1615), na qual defende o copernicanismo” (PEDUZZI, 2016, p. 107-108).

interrogação de que corpo está no centro do universo). Isto é, a natureza e a adequação da construção teórica copernicana, assim como o seu impacto social, permeiam a controvérsia em questão.

Para se compreender e aceitar o sistema copernicano em sua plenitude, precisar-se-ia romper definitivamente com a filosofia aristotélica. O impacto social da sua proposta, tomada no âmbito da astronomia física, modificou posteriormente toda uma visão de mundo; mas em vida, Copérnico não viu isso acontecer, infelizmente.

4.5 NO TOCANTE AS CONTROVÉRSIAS *ANALÍTICAS*, *RESISTIVAS* E *ARGUMENTATIVAS*: UMA SÍNTESE (IN)ACABADA

As controvérsias analíticas, resistivas e argumentativas, exemplificadas à luz de alguns episódios históricos específicos, explicitam que a dinâmica e os fatores envolvidos em uma polêmica científica dependem das particularidades contextuais de cada tipo de controvérsia. Não obstante, em termos gerais, as três classificações trazem à tona distintos aspectos relativos à Natureza da Ciência que notoriamente deixam transparecer uma ciência viva, dinâmica, contestável, questionadora, metodologicamente plural, valorada, subjetiva; uma ciência efetiva e não idealizada.

O ensino de ciências requer uma compreensão dos debates na ciência, e consequentemente de concepções *sobre* a ciência que eles suscitam. Nesse sentido, por apresentar exemplos históricos concretos (que podem ser aprofundados) e uma discussão filosófica passível de ser introduzida em sala de aula, entende-se que a classificação desenvolvida neste artigo pode auxiliar propostas didáticas que visem tratar aspectos relativos à Natureza da Ciência no ensino de ciências.

Kipnis (2001) ressalta que uma das formas mais profícuas de se utilizar história da ciência, e inevitavelmente a filosofia da ciência, em sala de aula é por meio de uma discussão aprofundada de controvérsias científicas. “Acompanhar um debate científico pode melhorar a compreensão dos estudantes do modo de trabalho interno da ciência, em particular, a introdução de uma nova teoria científica e sua relação com a experimentação”. (KIPNIS, 2001, p. 33).

Controvérsias científicas são constituintes produtivos do processo de elaboração de conhecimentos. Elas explicitam pressupostos teóricos e metodológicos de seus protagonistas, estimulam a criatividade, ensinam novos experimentos, viabilizam a análise de um mesmo conceito ou experimento sob diferentes perspectivas, possibilitam ver que a relação entre uma teoria/concepção teórica e seus fundamentos experimentais nada tem de trivial (PEDUZZI; RAICIK, 2017, p. 39).

As controvérsias analíticas aparecem na ciência quando um corpo de conhecimento ainda está em processo de desenvolvimento. A disputa pré-paradigmática, envolvendo aspectos empíricos, traz à tona, sobretudo, experimentos que podem ser considerados exploratórios (STEINLE, 1997; RAICIK; PEDUZZI, 2015), os quais, além da dinâmica contextual da polêmica, evidenciam um constante jogo entre hipóteses e experimentação. Um dos aspectos mais impactantes desse tipo de controvérsia é o advento de um paradigma científico. A estruturação de um novo conhecimento, produto de um intenso debate, revela que embora uma controvérsia possa surgir com a constatação de um fenômeno novo, por exemplo, o seu desenrolar é tão complexo que pode resultar em um conjunto de compromissos de pesquisa, que abarca a explicação empírica, mas não somente ela; pode englobar generalizações simbólicas, modelos, valores, exemplares (KUHN, 2011).

Nas controvérsias resistivas plurais, pautadas em um novo fenômeno, que também são passíveis de comportar experimentações exploratórias, percebe-se de forma mais explícita a relação inerente entre os contextos da descoberta e da justificativa. Isto é, as possíveis ligações entre os aspectos heurísticos e lógicos em uma pesquisa científica. Elas podem revelar, como as controvérsias analíticas, que a ideia de um experimento crucial, que permite *per se* dirimir debates e decidir entre teorias ou hipóteses distintas, é um mito (HODSON, 1988; RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017). Vigorosamente elas mostram que, por vezes, os estudiosos estão tão imersos em seus pressupostos teóricos que se recusam a abandoná-los ou a reconhecer um novo fenômeno. Ademais, explicitam que a ciência não se desenvolve de forma linear. As controvérsias resistivas céticas, que não envolvem uma nova teoria, mas se debruçam no paradigma vigente, quer porque ele não dá conta de explicar um novo fenômeno, seja porque não o reconhece empiricamente, revelam pressupostos teóricos e metodológicos que não são abalados facilmente pelo componente empírico.

A dinâmica de uma controvérsia argumentativa, por outro lado, difere das demais principalmente por permitir o debate interparadigmático. Essas controvérsias não se pautam em termos empíricos; o foco não está em um novo fenômeno. Neste sentido, elas comportam, de maneira mais notável, elementos retóricos, subjetividades, um espectro de valores internos e externos à ciência. A reivindicação de uma descoberta permite evidenciar que o jogo da ciência comporta descobertas simultâneas, no qual os métodos ou as concepções teóricas que norteiam cada descobrimento podem ser distintos.

Baltas (2000), ao trazer à tona as “suposições de fundo”, evidencia tanto fatores que propiciam, ao estudo dos debates científicos, fundamentos acerca do conhecimento, isto é, da

essência de seus constructos teóricos, quanto àqueles que relevam a influência da (inter) subjetividade (LIMA, 2014). Pode-se dizer, a fim de elucidar a relação da concepção baltasiana com aquela aqui concebida, que uma controvérsia analítica, por exemplo, é capaz de ser ‘profunda’, ‘decisiva’ ou ‘superficial’. Dependendo do seu contexto, os estudiosos envolvidos podem discordar em termos constitutivos, interpretativos, participativos e de preferência. Com sua classificação de controvérsias, Baltas não tem pretensão, ao menos diretamente, de atingir o ensino de ciências; portanto faz uso de uma linguagem e uma análise argumentativa abstrusa para este público. Desta forma, defende-se, como supracitado, que as controvérsias analíticas, resistivas e argumentativas, desenvolvidas neste artigo, além de poderem *abranger e englobar* as categorias de Baltas, apresentam uma classificação que poderia, em seu nível histórico e filosófico, ser trabalhada em sala de aula.

As apreciações de Goodwin (2013), acerca de parte da filosofia kuhniana, também inspiraram a classificação das três controvérsias debatidas neste artigo. Assim como Baltas, Goodwin sustenta sua análise de controvérsias não revolucionárias pautado em discussões filosóficas bastante profundas. Isto, naturalmente, dificulta o acesso direto de seu estudo para trabalhar com questões específicas de ensino. Com efeito, a abordagem que ele faz de Kuhn forneceu valiosos subsídios, e fundamentação, para uma classificação mais abrangente e acessível de controvérsias científicas, como a proposta e desenvolvida no presente artigo.

Um aspecto de grande relevância no estudo de controvérsias, não analisado neste artigo, é a maneira com que elas são resolvidas; os elementos envolvidos na escolha teórica, os valores internos e externos à ciência que influenciam uma comunidade e os seus sujeitos, a limitação do componente empírico como argumento proeminente em um debate. Isto, juntamente com a análise da gênese e do processo de uma controvérsia, pode auxiliar no rompimento da visão, em geral presente no ensino, de que a experimentação, por si só, resolve conflitos.

As implicações do tema são inúmeras, cada uma delas pode propiciar análises *sobre e da* ciência no ensino. Em síntese, as três classificações aqui desenvolvidas podem mostrar o quanto o empreendimento científico é rico em termos de produção de conhecimento, posto que denotam um processo dinâmico, vivo, onde perpassam elementos epistêmicos e não epistêmicos. O cientista não é um autômato que segue um roteiro e chega a um resultado sem ambiguidades. Pelo contrário, ele é muitas vezes o protagonista de severos debates, do desejo sublime de reconhecer a natureza, entendê-la e explicá-la.

Com efeito, como sublinha Dascal (1994), a rigorosa pesquisa das controvérsias se torna um meio para se “constituir uma descrição adequada da história e da *praxis* da ciência. Isso porque as controvérsias são o 'contexto dialógico' natural em que se elaboram as teorias e se constitui progressivamente seu sentido” (p. 77). Isto é, as querelas acendem a chama do desenvolvimento científico.

No âmbito do ensino, ainda, há perspectivas didáticas que visam, por exemplo, a formação de um estudante capaz de tomar decisões fundamentadas em situações recorrentes da sociedade (ANDRADE; GENOVESE; GENOVESE, 2017). O reconhecimento, por parte desses sujeitos, de que a ciência é permeada por contextos sociais, políticos, econômicos, tecnológicos, pode torná-los cidadãos mais críticos e cientes da não neutralidade científica. As pesquisas em educação científica também têm mostrado, como apontam Ramos e Silva (2007), que o tema de controvérsias pode ser tratado no âmbito do seu favorecimento à construção de discursos sobre as questões de ciência e tecnologia por parte de estudantes em formação, à relação interdisciplinar existente na própria sociedade e à aproximação entre o discurso científico e aquele de estudantes de ciências. Isso evidencia que as análises de controvérsias, e suas implicações em situações de ensino-aprendizagem, estão inseridas em um campo amplamente aberto e novo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. X.; GENOVESE, C. L. C. R.; GENOVESE, L. G. R. A controvérsia entre o blu-ray e o hd-dvd em aulas de física na perspectiva da social construction of technology (scot). **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 1-23, 2017.
- BACON, F. **Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza**; Nova Atlântica. Tradução de José Aluysio de Andrade. São Paulo: Abril Cultural, 2 ed., 1979.
- BALTAS, A. Classifying scientific controversies. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS (org.) **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 40-49, 2000.
- BARROTA, P.; DASCAL, M. **Controversies and Subjectivity**. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 2005.
- BRANTE, T. ELZINGA, A. Towards a theory of scientific controversies, **Science Studies**, 2, p. 33-46, 1990.
- BULLA, M. E. **O papel das interações polêmicas (controvérsias científicas) na construção do conhecimento biológico: investigando um curso de Formação Continuada de professores sobre Evolução Humana**, 2016. 261 f. Dissertação - Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto: EDUERJ, 2002.

COLLINS, H.; PINCH, T. **O Golem: o que você deveria saber sobre ciência**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

COPÉRNICO, N. **Sobre las revoluciones (de los orbes celestas)**. Madrid: Tecnos, 2009.

DASCAL, M. Epistemologia, controversiase pragmática. **Revista Brasileira de História da Ciência**, n. 12, p. 73-98, 1994.

ECHEVERRÍA, J. Valores contrapuestos en la controversia Newton-Leibniz. In: FERREIRÓS, J.; DURÁN, A. (org.) **Matemáticas y matemáticos**. Sevilla: Universidad de Sevilla, p. 85-104, 2003.

ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology**. New York: Cambridge University Press, 2003.

FERREIRA, A. Controversies and the logic of scientific discovery. In: BARROTA, P.; DASCAL, M. (org.) **Controversies and Subjectivity**. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, p. 115-126, 2005.

FREUDENTHAL, G. **Atom and Individual in the Age of Newton**. Dordrecht: Reidel. 1986.

GOODWIN, W. Structure and Scientific Controversies. **Topoi**, n. 32, p.101–110, 2013.

GRANÉS, J. S. **Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2005.

HACKING, I. Multiple Personalities, Internal Controversies, and Invisible Marvels. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS (org.) **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 81-99, 2000.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory** v. 20, n. 2, 1988.

KIPNIS, N. Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. **Science & Education**, v. 10, p. 33-49, 2001.

KITCHER, P. Patterns of scientific controversies. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS, A. (Org.) **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 3-17, 2000.

KOESTLER, A. **O homem e o universo: como a concepção do universo se modificou através dos tempos**. São Paulo: Ibrasa, 2ª ed., 1989.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011.

KUHN, T. S. A Função do Dogma na Investigação Científica. In: DEUS, J. D. (org.) **A crítica da ciência**, 2ª ed, p. 54-80, 1979.

LIMA, I. P. C. **O uso de controvérsias científicas para a compreensão da natureza da ciência: o caso do princípio de ação mínima**, 2014. 116 f. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

MAAR, J. H. **Pequena História da Química**. Florianópolis: Papa-Livro, 1999.

MACHAMER, P. The Concept of the Individual and the Idea(l) of Method in seventeenth-Century Natural Philosophy. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS (org.) **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 81-99, 2000.

MARTINS, R. A. Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de “ares” e os seres vivos. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 167-208, 2009.

MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4202: 1-32, 2015.

MASTERMAN, M. A natureza de um paradigma. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A (org.) **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo: Cultrix, 1979.

McMULLIN, E. Scientific controversy and its termination. In: ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. (org.) **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology**. New York: Cambridge University Press, p. 49-92, 2003.

MOSCHETTI, M. Crises e revoluções: a revolução copernicana segundo Thomas Kuhn. **Analecta**, v. 5, n. 1, p. 45-54, 2004.

NARASIMHAN, M. G. Controversy in Science. **J. Biosci**, v. 26, n. 3, p. 299-304, 2001.

NEWTON, I. A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society, **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.6, n.80, p. 3075-3087, 1672.

PEDUZZI, L. O. Q. **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Florianópolis: 2016. (publicação interna). Disponível em: evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PEDUZZI, L. O. Sobre continuidades e discontinuidades no conhecimento científico: uma discussão centrada na perspectiva kuhniana. In: SILVA, C.C. (org.) **Estudos de história e filosofia das ciências**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 59-86, 2006.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da física**. Agosto, 2016, 41p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PERA, M. Rhetoric and scientific controversies. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS (org.) **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 50-66, 2000.

POPPER, K. **A sociedade aberta e seus inimigos**; tradução de Milton Amado. Belo Horizonte: ed. Itatiaia, 1974.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 3, p. 192-206, 2017.

RAMOS, M. B.; SILVA, H. C. Controvérsias científicas em sala de aula: uma revisão bibliográfica contextualizada na área de ensino de ciências e nos estudos sociológicos da ciência & tecnologia. In: **VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências-VI ENPEC**, Florianópolis, SC, 2007.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction**. Chicago: University Chicago Press, 1938.

REIS, P. R. Ciência E Controvérsia. **REU**, v. 35, n. 2, p. 09-15, 2009.

SCHAFFER, S. Trabalhos com vidro. In: COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. (org.) **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto: EDUERJ, p. 250-268, 2002.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408- 432, 2002.

TOULMIN, S. E. Crucial Experiments: Priestley and Lavoisier. **Journal of the History of Ideas**, v. 18, n. 2, p. 205-220, 1957.

WESTFALL, R. **A vida de Isaac Newton**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

Capítulo 5

*A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz
de concepções kuhnianas*

5 A ESCOLHA TEÓRICA EM CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS: VALORES E SEUS JUÍZOS À LUZ DE CONCEPÇÕES KUHNIANAS⁴⁸

Theoretical Choice in Scientific Controversies: values and their judgments in the light of Kuhnian conceptions

Resumo

O estudo de controvérsias científicas é um tema complexo por suas peculiaridades contextuais. Filósofos, sociólogos, historiadores da ciência e pesquisadores em ensino de ciências têm mostrado que a sua análise pode apresentar perspectivas diversas que abrangem tanto a apreciação de sua gênese e progresso como ponderações acerca de seu término. Nesse sentido, o presente artigo discute concepções de Kuhn sobre valores na escolha teórica que podem contribuir para o entendimento do processo de término de debates calorosos na ciência. Além disso, tratando-se de um artigo teórico, aborda uma classificação de McMullin envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias na ciência. Com efeito, apresenta implicações para o ensino de ciências visando, sobretudo, romper com a visão limitada de que exclusivamente por meio de experimentações as querelas são resolvidas.

Palavras-chave: Controvérsias científicas. Kuhn. McMullin. Escolha teórica. Ensino de ciências.

Abstract

The study of scientific controversies is a complex theme because of its contextual peculiarities. Philosophers, sociologists, historians of science, and researchers in science have shown that their analysis can present diverse perspectives that encompass the appreciation of their genesis and progress as well as considerations about its end. In this sense, the present article discusses Kuhn's conceptions of values in the theoretical choice that can contribute to the understanding of the termination process warm debates in science. Moreover, in the case of a theoretical article approaches to McMullin's classification involving resolution, closure and abandonment of controversies in science. Indeed, it introduces implications for the teaching of sciences aimed, above all, to break with the limited view that disputes are resolved through experiments.

Keywords: Scientific controversies. Kuhn. McMullin. Theoretical Choice. Science teaching.

5.1 INTRODUÇÃO

A análise de controvérsias científicas por filósofos, sociólogos, historiadores da ciência, e também por pesquisadores em ensino de ciências, apresenta distintas perspectivas que envolvem tanto a apreciação da sua gênese e de seu progresso quanto considerações sobre o decurso de sua finalização (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000; ENGELHARDT; CAPLAN, 2003; BARROTTA; DASCAL, 2005; REIS, 2009; GOODWIN, 2013; LIMA, 2014; BULLA, 2016; RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018).

⁴⁸ Com pequenas alterações este artigo está publicado em *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 12, n. 1, p. 331-349, 2019.

Por toda peculiaridade contextual que cada controvérsia científica (ou classes dela) pode envolver, seu estudo torna-se matéria complexa. O processo pelo qual as controvérsias passam até terminarem aponta um caminho híbrido, principalmente porque na escolha de teorias⁴⁹ os membros de uma comunidade científica compartilham, em geral, de um conjunto de valores, como precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência, que evidenciam boas razões para a tomada de decisão, conforme argumenta o físico, historiador e filósofo da ciência Thomas Kuhn (2011). Esses valores, ou características, sem serem prescritivos, orientam a escolha teórica e aparecem não por serem mais “abrangentes, mas porque são individualmente importantes e, do ponto de vista coletivo, suficientemente variados para indicar o que está em questão” (KUHN, 2011, p. 340-341).

Na perspectiva do positivismo lógico, por exemplo, o que Kuhn admite serem valores passíveis de juízos e suscetíveis a mudanças em contexto histórico, eram vistos tão somente como regras, ou critérios, para a escolha teórica. Essas regras eram engessadas de forma que elementos, sobretudo aqueles considerados extrínsecos à atividade científica, revelavam-se falhos e descomprometidos com aspectos lógicos. Portanto, deveriam ser banidos da reconstrução racional do conhecimento, a fim de se salvar a objetividade na ciência (CORDEIRO, 2016).

Kuhn foi, e ainda é, severamente acusado de traçar uma imagem não racional do debate científico e ‘glorificar’ a subjetividade. No posfácio de sua obra máxima, a “Estrutura das Revoluções Científicas”, ao procurar esclarecer certos conceitos da sua análise sobre a ciência, Kuhn explicita o que se deve entender por paradigma. Entre os elementos que constituem o que ele designa posteriormente por matriz disciplinar⁵⁰, encontram-se os valores. Ele afirma que a característica sub e intersubjetiva atribuídas aos valores partilhados, contrapondo-os às regras normativas, “apareceu como a maior fraqueza de minha posição” (KUHN, 1998, p. 230).

Em “A crítica e o desenvolvimento do conhecimento” – livro organizado por Imre Lakatos e Alan Musgrave e fruto de um simpósio presidido por Karl Popper e realizado por ocasião de um colóquio internacional em Londres, em 1965, acerca da ‘Estrutura’, Kuhn já tratava de questões levantadas por seus críticos. “Pretendo eliminar os mal-entendidos”, afirma, “pelos quais meu próprio passado retórico é, sem dúvida, parcialmente responsável” (KUHN, 1979, p. 320). No que se refere especificamente às acusações de irracionalidade, ele declara:

⁴⁹ O termo teoria é utilizado neste artigo, por vezes, como sinônimo de hipótese, assim como ocorre com frequência nas obras aqui citadas.

⁵⁰ A matriz disciplinar refere-se a um conjunto de compromissos de pesquisa de uma comunidade científica, que engloba generalizações simbólicas, modelos, valores e exemplares (KUHN, 1998).

“não entendia antes e não entendo agora o que meus críticos querem dizer quando empregam termos como ‘irracional’ e ‘irracionalidade’” (Ibid, p. 325). Por certo, a ideia kuhniana, contesta a imaginária suposição da filosofia tradicional de que a escolha entre teorias pode se dar por técnicas ou regras semanticamente neutras (KUHN, 2002).

Apesar das críticas recebidas, inclusive por epistemólogos como Popper, Feyerabend, Lakatos, Toulmin, as contribuições kuhnianas, junto desses e de outros notórios, ‘revolucionaram’ o modo de se buscar compreender a ciência em meados do século XX. O reconhecimento de que a ciência é influenciada por aspectos sociais, culturais, históricos, subjetivos, suscetíveis a mudanças, permeada por diversas concepções metodológicas, e persuadida por valores, fez emergir novos olhares para as controvérsias e os seus desfechos. A consideração de que os contextos da descoberta e da justificativa (DJ) são indissociáveis, contribui nesse sentido (RAICIK; PEDUZZI, 2015). Quando se explicita o processo científico, não se verifica uma metodologia universal e que a ciência é muito mais do que um produto, fruto de uma reconstrução lógica, como aparece nos manuais didáticos e em relatos dos próprios cientistas.

Nesse sentido, Kuhn (2011) aponta que os argumentos ditos ‘lógicos’ ou ‘justificáveis’ não podem ser considerados mais relevantes e incomparáveis aos condicionamentos psicológicos e sociológicos, declarados como pertencentes ao contexto da descoberta – que são tão importantes e constituintes da atividade científica quanto os primeiros. É, deveras, um conjunto de valores existentes na ciência, epistêmicos ou não, que fornece a base partilhada para a escolha de teorias.

A ideia mais comum, propagada não apenas no âmbito do ensino de ciências, mas difundida no campo da filosofia da ciência quando da presença forte do empirismo lógico, relaciona a resolução de controvérsias diretamente aos fatos científicos; o componente empírico assume, desse ponto de vista, um papel fulcral (ENGELHARDT; CAPLAN, 2003). Qualquer possível controvérsia deveria ser solucionada pela experimentação⁵¹, evidência e exercício da razão. A essência desse entendimento estava na noção de que um método dispensaria qualquer necessidade de “discussões calorosas” (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000). Especificamente no imaginário da educação, não raro, as controvérsias se encerram na presença de um experimento crucial que, *per si*, de forma incontestável e imediata, torna passível a escolha entre teorias ou hipóteses distintas (HODSON, 1988).

⁵¹ Neste artigo, sem maior diligência, os termos experiência e experimentação são utilizados como sinônimos.

Os experimentos, embora importantes em muitos contextos de pesquisa, são apenas um dentre distintos elementos que fazem parte de debates na ciência e, conseqüentemente, que podem ter um peso considerável na escolha teórica. Aliás, em muitas controvérsias, como nas argumentativas⁵², a querela se dá em termos essencialmente teóricos; o componente empírico não está no centro da disputa. Nesses casos, e não apenas neles, outros valores entram em questão e ajudam a propiciar a propensão da comunidade ou indivíduo a uma determinada teoria ou hipótese. Inegavelmente, ademais, os fatos⁵³ ou as experiências que dão origem às afirmações deles ou sobre eles envolvem juízos de valor; conseqüentemente, aspectos cognitivos, sociais, sub e intersubjetivos.

Embora Kuhn não tenha se debruçado, especificamente, sobre controvérsias científicas, ele exemplifica sucintamente alguns desacordos na ciência e apresenta uma discussão profícua e precursora sobre os valores na escolha teórica. Nesse sentido, este artigo pretende apresentar concepções kuhnianas que podem ajudar a esclarecer de que forma os estudiosos são levados a tomada de decisões e, por conseqüência, permitir uma melhor compreensão do processo de término de debates calorosos em uma ciência não idealizada e imparcial, mas histórica, social, humana. Tratando-se de um estudo teórico, discorre ainda sobre uma classificação do físico e filósofo da ciência Ernan McMullin envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias na ciência. Visa-se tonar mais claro e compreensível como as controvérsias podem terminar, visto que essa ainda é uma questão em debate em estudos filosóficos. Com efeito, essas colocações permitem desmistificar a ideia, ainda bastante presente na educação científica, de que debates são resolvidos única e exclusivamente por experimentação. Por fim, busca-se discorrer sobre as implicações dessas discussões para o ensino de ciências.

5.2 CONTROVÉRSIAS NA CIÊNCIA: O DILEMA DE UM ÁRBITRO IMPARCIAL

A ciência é genuinamente controversa. Ao longo de sua história ela evidenciou numerosas querelas, de maior ou de menor importância, que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o seu desenvolvimento. Em termos gerais, sem grande diligência, pode-se

⁵² Essas controvérsias não se pautam em termos empíricos; o foco não está em um novo fenômeno. Neste sentido, elas comportam, de maneira mais notável, elementos retóricos, subjetividades, um espectro de valores internos e externos à ciência (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018).

⁵³ Fato entendido como uma construção que apresenta uma gênese e um desenvolvimento, e não pura e simplesmente fato *per si*.

dizer que uma controvérsia científica ocorre quando partes significativas da comunidade científica atribuem algum mérito a ambos os lados envolvidos em uma disputa (BALTAS, 2000; McMULLIN, 2003; ENGELHARDT; CAPLAN, 2003). Mas até quando isso ocorre?

A escolha teórica entre paradigmas, ou em período pré-paradigmático, não se processa alicerçada em regras ou critérios isentos de julgamento; não pode haver uma solução puramente normativa. “Não existe um critério racional primordial, nenhum padrão neutro, a partir do qual as teorias rivais podem ser avaliadas e ponderadas uma em relação à outra” (BRANTE; ELZINGA, 1990, p. 40). Até mesmo as experiências, tão distintas por tanto tempo na ciência, envolvem técnicas de observação, instrumentação, interpretação e não podem atuar como um árbitro imparcial na escolha teórica.

Além disso, cada controvérsia, ou classes delas, apresenta peculiaridades que não torna passível o estabelecimento de um critério universal, ou preceitos tão somente, capaz de propiciar o seu término. Raicik, Peduzzi e Angotti (2018), por exemplo, à luz de concepções kuhnianas, propõem e exemplificam três tipos de controvérsias científicas – analíticas, resistivas e argumentativas – que ocorrem na ciência tanto em períodos onde existe uma efervescência teórica quanto naqueles em que há um corpo teórico hegemônico. Essas classes explicitam que a dinâmica e os fatores envolvidos em cada um dos desacordos dependem das suas particularidades contextuais.

Em períodos pré-paradigmáticos, no qual há escolas competindo por um conhecimento ‘consensual’, e o componente empírico está no cerne do desacordo, a controvérsia pode ser do tipo *analítica*. Nesses casos, o seu desenrolar torna-se intrincado a ponto de não permitir que a explicação empírica seja suficiente, por si mesmo, para resolver a questão. O emergir de um paradigma científico é uma das maiores contribuições deste tipo de controvérsia. Nesse sentido, um conjunto de compromissos de pesquisa, que pode ser expresso na forma de generalizações simbólicas, modelos, valores, exemplares, resulta da querela e mostra que o seu término não envolve, necessariamente, puros resultados experimentais.

Diversos episódios históricos evidenciam que, muitas vezes, há controvérsias *resistivas*, isto é, aquelas relacionadas a um fenômeno novo que contraria expectativas do paradigma aceito pela comunidade científica. Nesse sentido, parte substancial da comunidade questiona ou fica incrédula quanto ao fenômeno recentemente descoberto. Esse tipo de desacordo pode revelar, tal como nas controvérsias analíticas, “que a ideia de um experimento crucial, que permite *per si* dirimir debates e decidir entre teorias ou hipóteses distintas, é um mito” (PEDUZZI; RAICIK, 2017, p. 36).

A disputa interparadigmática, em controvérsias *argumentativas* que não se pautam em termos empíricos, mas são essencialmente teóricas, evidencia outra característica peculiar dos debates na ciência. Valores internos e externos, elementos retóricos, subjetividades, que também podem ser vistas nas classificações anteriores, ficam mais proeminentes nesse tipo de controvérsia. O difícil diálogo existente nos grupos pertencentes a paradigmas distintos, demanda um processo de comunicação, ou ‘tradução’, que requer a comparação valorada entre as teorias. Por não envolver, em seu âmago, o componente empírico, esses episódios históricos tornam ainda mais clara a ideia de que um experimento, ou resultados experimentais isentos de juízos de valor, não pode resolver sempre as querelas científicas.

Com efeito, como Kuhn argumenta, as decisões fundamentais dos estudiosos são justificadas no sentido das suas escolhas de acordo com valores específicos desses sujeitos ou da comunidade em que pertencem.

Duas pessoas profundamente compromissadas com os mesmos valores podem ainda assim, em situações particulares, fazer escolhas diferentes, como de fato o fazem. Mas a diferença de resultado não deve sugerir que os valores compartilhados pelos cientistas sejam menos do que criticamente importantes para suas decisões ou para o desenvolvimento da atividade da qual participam (KUHN, 2011, p. 350).

Os valores e seus juízos, por certo, atuam de forma distinta, de modo que influenciam as tomadas de decisões científicas, como enfatiza Kuhn, e assim os rumos que a ciência pode seguir em seus mais calorosos momentos.

5.3 A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E VALORES: UMA PERSPECTIVA KUHNIANA DE ESCOLHA TEÓRICA NA CIÊNCIA

No âmbito da distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa, explicitada pelo filósofo, físico e matemático Hans Reichenbach na década de 1930, a filosofia da ciência, de caráter normativo, era autônoma em relação às disciplinas empíricas, ou seja, consideradas factuais como a história da ciência, a sociologia, a psicologia. Para ele, e os defensores dessa dicotomia, a maneira pela qual o conhecimento se desenvolve, e isto inclui a influência de aspectos subjetivos, não pode ser passível de análises filosóficas, ficando restrita ao contexto da descoberta. A filosofia, longe de considerar os processos reais, deve se preocupar somente com a reconstrução lógica da prática científica, isenta de valores idiossincráticos, sociais, intersubjetivos. Nesse sentido, Kuhn (2011) salienta que filósofos que defendem a distinção DJ estão, na realidade, buscando um ideal não de todo atingível.

De acordo com Reichenbach (1953), o contexto da descoberta não carece de uma apreciação epistemológica, pois não possui regras que tornariam possível o desenvolvimento de “uma máquina descobridora que assumiria a função criadora do gênio” (p. 211). No entanto, ele reconhece que nesse contexto seja possível haver aspectos normativos (BAGCE, 2011). O que ele ignora, pura e simplesmente, é a relevância desses aspectos para o contexto da justificação (SIEGEL, 1980); eles são desprezíveis para a objetividade da ciência.

Exasperado, Kuhn se questiona por que elementos que fazem parte da ciência e são relegados ao contexto da descoberta representam, para os filósofos tradicionais, apenas um “sinal da fraqueza humana, e não da natureza do conhecimento científico?” (KUHN, 2011, p. 345). Ao que parece uma resposta, ele argumenta que, além de se preocupar com a reconstrução da ciência, também está interessado em compreender a ciência, analisar as razões de sua eficácia, entender o estatuto cognitivo de suas teorias. Porém, como frisa, passou a olhar a ciência como historiador, tendo reconhecido que no decorrer do processo científico existem distintos elementos que infringem persistentemente os cânones metodológicos tradicionais. Sua nova concepção de ciência, traçada historicamente, o teria levado, “supostamente, a romper com a clássica dicotomia entre os fatores axiológicos⁵⁴ do contexto da descoberta e as razões epistemológicas do contexto da justificação” (MENDONÇA; VIDEIRA, 2013, p. 189).

Com efeito, Kuhn não eliminou aspectos normativos em defesa de uma abordagem meramente descritiva da ciência em sua filosofia, mas procurou romper com o idealismo de que a racionalidade está associada apenas à normatividade, aos processos lógicos e a algoritmos devidamente justificáveis (RAICIK; PEDUZZI, 2015). É nesse sentido que ele é acusado de envolver, na escolha de teorias, elementos considerados “irracionais” (ECHEVERRIA, 1995).

A fim de contestar algumas das diversas críticas recebidas, principalmente àquelas que se refere a irracionalidade e a importância dada à subjetividade na ciência, Kuhn apresenta o artigo “Objetividade, juízo de valor e escolha teórica” (KUHN, 2011). Nele, o filósofo defende com obstinação que cada escolha teórica feita por estudiosos depende, além de critérios compartilhados, de fatores idiossincráticos que possuem, igualmente, relevância filosófica. As características que dependem de cada sujeito não comprometem, segundo ele, “sua adesão aos cânones que tornam a ciência científica” (p. 344).

As colocações kuhnianas influenciaram proficuamente o desenvolvimento de outras teses axiológicas no âmbito da filosofia da ciência, como as de Ernan McMullin, Larry Laudan,

⁵⁴ A axiologia se refere ao estudo de valores, isto é, “uma reflexão filosófica sobre os valores, sua natureza, características, estrutura, conhecimento e teorias” (PEDRO, 2014, p. 488).

Helen Longino, Hugh Lacey (CORDEIRO, 2016; BATISTA; LUCAS, 2013). Ainda que a concepção de Kuhn seja “cheia de nuances, que para muitos desafiam a propalada objetividade da ciência quando se exterioriza a subjetividade inerente a qualquer decisão” (PEDUZZI; RAICIK, 2017, p. 26), ele pode ser considerado um dos pioneiros no estudo da relação entre ciência e valores e no reconhecimento dos juízos de valor para a desconstrução da suposta reconstrução racional científica. Por certo, ele afirma que “nenhum processo essencial ao desenvolvimento científico pode ser rotulado de ‘irracional’ sem que se cometa enorme violência ao sentido do termo” (KUHN, 2006, p. 160).

5.3.1 Valores, nem sempre suficientes, para a escolha de uma boa teoria

Efetivamente, os modos pelos quais estudiosos são levados a abandonar teorias, ou paradigmas, em favor de outros, podem envolver um conjunto de valores epistêmicos que evidenciam razões apropriadas para a tomada de decisão. Kuhn explicita cinco deles: precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência. Esses critérios já eram tomados como regras lógicas pela epistemologia tradicional (positivista), mas na perspectiva kuhniana passam a ser considerados valores, por isso nem sempre conduzem à resolução de um desacordo. O filósofo adverte que “tomados um a um, tais critérios são imprecisos: indivíduos podem discordar legitimamente sobre suas aplicações em casos concretos. Além disso, quando postos em conjunto, mostram-se em constante conflito uns com os outros” (KUHN, 2011, p. 341).

A precisão refere-se à clara concordância das teorias com as experimentações e observações. Esta concordância não diz respeito apenas à sua essência quantitativa, mas também à sua natureza qualitativa. Embora o critério da precisão possa ser considerado aquele que mais se aproxima de um critério decisório, como Kuhn frisa, nem toda teoria na ciência pode ser discriminada (de modo que leve sempre a uma escolha inequívoca) em termos de sua exatidão. Como exemplo, ele destaca que se Kepler não tivesse levado em consideração outros valores, que não apenas a precisão, para revisar drasticamente o sistema copernicano, a teoria de Copérnico poderia ter sido esquecida. Até então, o sistema copernicano não era mais exato que o de Ptolomeu. Desta forma, “por mais importante que seja, a precisão por si mesma raramente, ou nunca, é um critério suficiente para a escolha de teorias” (KUHN, 2011, p. 342).

Uma teoria possui consistência quando dispõe de coerência interna, ou seja, é autoconsistente, e de coerência externa, isto é, está em consonância com outras teorias correntes e afins. No caso envolvendo Ptolomeu e Copérnico, ambas as teorias possuíam coerência

interna, contudo apenas a primeira estava em conformidade com o paradigma vigente. O sistema ptolomaico era perfeitamente consistente com a filosofia aristotélica, que primava por uma Terra imóvel e central. A astronomia copernicana, por sua vez, revelava um rompimento com a evidência dos sentidos e com o dogma aristotélico. Aqui, fica claro que os valores nem sempre são ou podem ser tomados isoladamente. Como sublinha Kuhn, o critério da consistência, por si só, neste caso, fala de maneira inequívoca a favor da tradição geocêntrica.

Quando uma determinada teoria consegue organizar fenômenos que, em sua inexistência, ficariam individualmente isolados e coletivamente confusos, ela possui simplicidade. No exemplo supracitado, os dados observacionais no sistema ptolomaico eram compatíveis, ao menos em proporções iguais, ao copernicano. Todavia, como Kuhn chama a atenção, o movimento “retrógrado” de um planeta, por exemplo, era explicado no sistema copernicano pelas diferentes velocidades orbitais, enquanto o sistema ptolomaico o justificava através do epiciclo-deferente, ou do equante⁵⁵. Nesse sentido, a teoria copernicana era mais simples. Isto foi de fundamental importância “para as escolhas feitas tanto por Kepler quanto por Galileu e, por isso, essencial para o triunfo final do copernicanismo” (KUHN, 2011, p. 343).

A fecundidade está associada à sua competência em encontrar novos achados de pesquisa, propiciar novos fenômenos, permitir que a relação de fenômenos antes ignorados seja clarificada ou compreendida. Por certo, para Kuhn, a fecundidade é um dos valores primordiais para as decisões científicas, justamente porque diante da escolha teórica os estudiosos preocupam-se, inclusive, com o impacto que suas decisões poderão ter em suas carreiras. Já a abrangência de uma teoria está relacionada à sua capacidade de extrapolar as observações, leis e subteorias particulares pelo qual foi formulada.

Kuhn (2011) admite que toda escolha teórica pode envolver fatores objetivos e subjetivos ou critérios compartilhados e individuais que possuem demasiada relevância filosófica e não podem, com a condição de se analisar a ciência tal como ela se desenvolve, ser relegados somente ao contexto da descoberta. Sendo um expoente significativo contra a distinção DJ, alega que “aquilo que a tradição considera imperfeições elimináveis em suas regras de escolha, eu considero respostas parciais à natureza essencial da ciência” (p. 349). Valores como precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência:

podem se mostrar ambíguos em sua aplicação individual ou coletiva (...) mas especificam muitíssimo o que cada cientista deve considerar para chegar a uma decisão, o que pode ou não considerar relevante e o que se pode legitimamente exigir que ele exponha como base da escolha que fez (...) Reconhecer que os critérios de escolha podem funcionar como valores (...) explica em detalhes aspectos do

⁵⁵ Deve-se ressaltar que Copérnico, além de não fazer uso, rejeitava o equante.

comportamento científico que a tradição considerou anômalos ou mesmo irracionais (KUHN, 2011, p. 350-551).

Os fatores individuais, que possuem distintas naturezas, desempenham papel tão relevante na justificativa de teorias quanto nas condições fatuais de descoberta (HOYNINGEN-HUENE, 1993). Nesse sentido, os juízos de valor possuem função significativa, mas não necessariamente definitiva, nas decisões científicas, como norteadores ou mediadores de escolhas teóricas (CORDEIRO, 2016).

5.4 O DESFECHO DE CONTROVÉRSIAS NA CIÊNCIA: A VISÃO DE McMULLIN

McMullin revê a lista de valores explicitada por Kuhn, por isso, nesse sentido, eles abrigam muitas semelhanças. Conquanto, há disparidade nas terminologias utilizadas e nas definições das características especificadas.

Poder unificador e alcance, apesar de similares, não têm, a rigor, a mesma definição. Kuhn entende por alcance [abrangência] a característica de uma teoria ‘estender-se muito para além das observações, leis ou subteorias particulares para as quais ela estava projetada em princípio’, enquanto McMullin interpreta o valor do poder unificador como ‘a habilidade de congregar áreas de pesquisa antes distintas’ (...). Outras diferenças se apresentam na classificação diferenciada de McMullin à fertilidade (ou fecundidade), e na sua resistência em relação ao valor da simplicidade. Fertilidade, para ele, é um valor de natureza mais complexa, pois nem sempre pode ser avaliado nos primeiros momentos de escolha teórica (...). O caso da simplicidade é definitivamente mais complicado. Na lista de Kuhn, está em pé de igualdade com os outros, não lhe sendo atribuída qualquer restrição pelo filósofo. McMullin, no entanto, é muito mais cauteloso (CORDEIRO, 2016, p. 47).

Enquanto Kuhn discorre sobre os valores (juízos de valor) e sua relevância na escolha teórica, McMullin aponta, inclusive, como eles se relacionam especificamente na terminação de controvérsias científicas. Para ele, os valores epistêmicos e não epistêmicos – os primeiros em que o conhecimento científico é baseado e, portanto, internos à própria compreensão da ciência e os segundos, externos ao empreendimento científico –, possuem papéis distintos em controvérsias científicas (ENGELHARDT; CAPLAN, 2003).

Em “Scientific controversy and its termination” (McMULLIN, 2003), McMullin apresenta considerações profícuas à compreensão de controvérsias na ciência. Além de discutir o que se pode entender por controvérsias, a influência de aspectos epistêmicos e não epistêmicos em seu desenrolar e exibir uma taxonomia à luz da distinção de controvérsias de fatos, de teorias, de princípios e mistas (controvérsias que envolvem a ciência e uma questão de princípio moral ou político), o filósofo apresenta considerações acerca de suas terminações.

A partir de sua classificação, o término de controvérsias pode ocorrer de três formas: por *resolução (resolution)*, *encerramento (closure)* ou *abandono (abandonment)*.

Uma controvérsia científica pode ser considerada *resolvida* quando um acordo sobre o caso em questão é alcançado em termos daquilo que os participantes envolvidos consideram ser fatores epistêmicos padrões. Nesse caso, são os próprios participantes e a comunidade científica naquele contexto que determinam se a resolução, de fato, ocorreu. Embora uma reconstrução histórica posterior possa evidenciar que a controvérsia tenha sido resolvida não necessariamente apenas por valores epistêmicos, naquele momento histórico os juízes do debate reconhecem os valores envolvidos apenas como epistêmicos. Isto é, em retrospectiva, alguns críticos podem admitir que determinados valores não deveriam ter recebido pesos decisórios. Não obstante, como McMullin salienta, a resolução não implica em completa convicção de verdade ou garantia de que a visão da comunidade e dos envolvidos seja absolutamente definitiva. Tão somente que a força dos contra-argumentos, de uma maneira ou de outra, é eliminada ou pelo menos suficientemente diminuída pelo reconhecimento de valores epistêmicos. “‘Aceitação’ neste contexto (como na ciência em geral) é, naturalmente, provisória” (McMULLIN, 2003, p. 78).

Os critérios para avaliação teórica não são automáticos, nem claros em seu funcionamento. Também não existe um acordo completo sobre como eles devem ser definidos nem sobre o peso relativo que lhes devem ser atribuídos. Não há lógica, portanto, que permita em todos os casos decidir sobre os méritos de uma controvérsia de teoria. É, em geral, somente quando uma das teorias rivais acumula um registro significativamente melhor ao longo do tempo que a resolução se torna possível. Enquanto isso, os fatores não-epistêmicos podem desempenhar um papel importante, às vezes até decisivos (McMULLIN, 2003, p. 67).

A controvérsia entre Lord Kelvin (William Thomson) e Charles Darwin sobre a doutrina do uniformitarismo, comentada por Bulla e Meghioratti (2016), evidencia um debate resolvido, propriamente, por fatores epistêmicos. Darwin desenvolveu sua teoria da seleção natural influenciado por esta doutrina – no qual argumenta que a Terra possui uma idade geológica muito antiga. Kelvin, no entanto, a partir de cálculos de dissipação do calor do interior da Terra, argumenta ter refutado essa ideia e atribui a ela uma idade muito menor. Darwin “considerava os cálculos de Kelvin da idade da Terra uma grave objeção a sua teoria” (BULLA; MEGLIORATTI, 2016, p. 2). Por certo, novas evidências trazidas pela radioatividade fizeram Kelvin admitir que sua concepção era imprecisa. Desta forma, foram fatores epistêmicos, sobretudo com a descoberta do rádio e a conclusão de que os seus sais liberam constantemente calor, que resolveram a querela.

O *encerramento* de uma controvérsia envolve fatores não epistêmicos que, a princípio, podem ser considerados irrelevantes, mas se mostram essenciais para o término de determinadas controvérsias. A autoridade de estado, o orgulho, a ambição, a indolência de um estudioso, ou mesmo a retirada de publicações, passam a ser fatores decisivos no debate. Não obstante, término aqui não é sinônimo de resolução – que neste caso nem sempre é alcançada. “Quando uma controvérsia termina com o encerramento, o desacordo original ainda persiste em certa medida” (McMULLIN, 2003, p. 79).

Com efeito, como o encerramento de uma controvérsia demanda, sobretudo, o emprego de uma autoridade externa para essa declaração, e a comunidade desconhece propriamente os fatos envolvidos para isso, pode parecer que a querela tenha sido, de fato, resolvida. Mas esta é apenas uma falsa impressão. No âmago da questão, os fatores não epistêmicos, como frisa McMullin, continuam sendo “irrelevantes”, pois ainda que haja o término, não há resolução. “Eles podem efetivamente encerrar a expressão pública do desacordo, que é uma característica necessária da controvérsia” (McMULLIN, 2003, p. 79). Mas cabe somente aos aspectos epistêmicos, o papel significativo de resolver, definitivamente, a querela.

Um exemplo de controvérsia encerrada, citado pelo filósofo, envolve um ‘ataque’ à genética clássica dirigido pelo biólogo e agrônomo ucraniano Trofim Lysenko, em meados de 1930. Envolvido em intensas disputas ideológicas e políticas, inicialmente, ele teve apoio do Partido Comunista da União Soviética (PCUS), dirigido por Josef V. Stalin, para defender sua teoria que contrariava o conceito de gene e a concepção de seleção natural.

Defendia a ideia de que os organismos vivos poderiam ser condicionados para sobreviverem em qualquer tipo de ambiente, passando às gerações seguintes as novas características adquiridas, diferente do que afirmavam os darwinistas, que falavam em seleção natural do mais apto, sem a possibilidade de condicionamento do genótipo (LORETO; MASSARANE; MOREIRA, 2014, p. 1).

Em meio a uma campanha contra “teorias burguesas de hereditariedade cromossômica”, cientistas foram demitidos, laboratórios fechados, departamentos de universidades reorganizados e até livros didáticos descartados (McMULLIN, 2003). Por certo, “Lysenko retratou a Genética ocidental como sendo ‘burguesa’, ‘fascista’ e que fornecia uma justificativa para o racismo e a colonização pelos países capitalistas” (LORETO; MASSARANE; MOREIRA, 2014, p. 1).

Após a morte de Stalin, Lysenko ainda contou com o apoio de Nikita Khrushchov secretário geral do Partido Comunista da União Soviética. Contudo, com a queda de

Khrushchov, em 1964, Lysenko perdeu o seu “reinado” de quase 30 anos. Nesse momento a controvérsia foi, de fato, encerrada.

Casos de encerramento não são frequentes na ciência, como sinaliza McMullin. Normalmente, valores não epistêmicos intervêm junto aos epistêmicos em uma controvérsia, os primeiros causando encerramento, os segundos trabalhando em sua resolução.

No exemplo anterior, pode-se dizer que a controvérsia passou de encerrada para resolvida somente quando “um relatório de uma comissão do Ministério da Agricultura e das academias teria demonstrado que os trabalhos experimentais de Lysenko foram realizados e testados de forma inadequada, e que todas as suas técnicas agrícolas eram ineficazes ou prejudiciais” (LORETO; MASSARANE; MOREIRA, 2014, p. 3). A genética teórica foi reintroduzida e as ideias lysenkianas repudiadas, nesse momento de resolução, por valores epistêmicos.

Uma controvérsia pode, ainda, ser *abandonada* e isto significa que ela, simplesmente, é capaz de desaparecer. Os estudiosos envolvidos no debate podem perder o interesse, ficarem esgotados ou falecerem. Nesses casos, as controvérsias também não são resolvidas, tampouco encerradas. De fato, publicamente, há o seu término. Isto permite que, por ventura, “com o passar do tempo, uma controvérsia abandonada pode vir a ser implicitamente resolvida à medida que novas evidências se tornam disponíveis ou novas teorias são formuladas” (McMULLIN, 2003, p. 81).

McMullin cita como exemplo a querela entre newtonianos e cartesianos acerca do princípio ativo da matéria. Newton sustentava, no *Principia*, que a matéria era inerte. Não obstante, a sua ideia de força gravitacional dava margem às críticas de que a matéria seria ativa por sua própria natureza. “Após a morte de Newton, a controvérsia desapareceu, em parte porque os fundamentos de sua ênfase na passividade inerente da matéria (que eram filosóficas e teológicas) já não pareciam convincentes, e em parte porque a noção de forças que atuam no espaço havia perdido sua estranheza” (McMULLIN, 2003, p. 73). O sucesso da mecânica gravitacional newtoniana fez com que o princípio de passividade da matéria fosse, de fato, menos plausível. Com efeito, a controvérsia não foi abandonada porque uma teoria prevaleceu sobre a outra, mas porque ninguém mais se interessou em defendê-la. Mesmo depois de três séculos, ela não foi resolvida.

Na ciência, normalmente e em grande medida, como ressalta McMullin, as controvérsias são, de fato, *resolvidas*. Isto significa que os fatores epistêmicos são mais prováveis de serem determinantes do que aqueles não epistêmicos. Ele argumenta isso à luz do

que diz ser uma tese filosófica modesta, fundamentada parcialmente no histórico científico. De acordo com o filósofo, o papel da comunidade científica é um dos elementos mais relevantes em uma controvérsia, não sendo, no entanto, infalível. A partir da publicação dos estudos, no âmbito de um debate, a comunidade científica analisa e impõe disciplina aos envolvidos, é isto que “oferece a melhor esperança de resolução epistêmica adequada” (McMULLIN, 2003, p. 89). Isto quer dizer, em outras palavras, que a provável teoria passa por revisões, testes, verificações, análises. Nesse sentido, estão passíveis de mostrarem, ainda que em longo prazo, as disparidades de fato, as suas fraquezas, seus princípios inadequados. Por certo, para McMullin, a fertilidade de uma teoria é um valor essencial de sua qualidade epistêmica.

5.5 CONTROVÉRSIAS, VALORES E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Na literatura, sobretudo nas últimas décadas, encontram-se distintos estudos que visam analisar as gêneses, processos, tipos e definições de controvérsias científicas (MACHAMER; PERA; BALTAS, 2000; ENGELHARDT; CAPLAN, 2003; BARROTTA; DASCAL, 2005; GOODWIN, 2013). Embora haja discussões sobre o término de querelas na ciência, essa é uma questão que precisa ser melhor debatida, principalmente na educação científica.

Diversos trabalhos têm apontado a relevância de discussões relativas à Natureza da Ciência (NdC) no ensino das ciências, em distintos níveis, inclusive na formação de pesquisadores (MATTHEWS, 1995; MOURA, 2014; MARTINS, 2015; PEDUZZI; RAICIK, 2017). A relação entre ciência e valores, e mais especificamente o seu vínculo com a escolha teórica em controvérsias, pode propiciar uma melhor compreensão da dinâmica científica. A tese estereotipada de que um experimento dito crucial, isto é, decisivo e inequívoco, no momento de uma disputa, permite o término de um debate acaba não dando margem à reflexão de um processo complexo e admirável da ciência.

A valorização praticamente exclusiva dos resultados científicos em livros de divulgação científica, na veiculação midiática da ciência (vídeos, filmes) e, particularmente, em materiais didáticos e no discurso de professores colabora para a perpetuação do estereótipo de que controvérsias científicas são, e devem ser, resolvidas por apelo ao componente empírico envolvido. O próprio Kuhn (2011) enfatizou que livros e até mesmo artigos filosóficos recorrem com frequência aos experimentos ditos cruciais: “seu emprego como ilustração oferece uma economia necessária à pedagogia científica, mas não esclarecem quase nada acerca das características das escolhas que os cientistas são compelidos a tomar” (p. 347). Isto é, além de

não esclarecer, essa ideia ignora um conjunto de valores que fazem parte da ciência; uma ciência que pode e precisa ser conhecida no ensino, à luz de pesquisas atuais, como efetivamente ela é: um processo humano, histórico, social, etc., que não se desvincilha de uma reflexão concomitante entre os contextos DJ no âmbito da produção de conhecimento. Aliás, Lakatos (1987) argumenta, muito bem, que “nenhum experimento isolado pode desempenhar um papel decisivo, muito menos ‘crucial’, para fazer inclinar a balança entre programas rivais de investigação” (p. 284-285).

Para além disso, as controvérsias podem prescindir do experimento, como ocorre em controvérsias argumentativas (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018). Nesses casos, sobretudo, a análise dos valores envolvidos é primordial para entender tanto o desenrolar quanto a terminação da disputa.

Quando um argumento teórico convincente desequilibra irreversivelmente um dos lados, a solução é sobejamente conceitual. De qualquer maneira, ao se analisar um conceito sob diferentes perspectivas em um debate, seja ele no calor da disputa ou no distanciamento histórico dos fatos, o mínimo que se tem, como produto, é uma compreensão muito melhor e mais elaborada do mesmo (PEDUZZI; RAICIK, 2017, p. 40).

Kuhn reconhece, ao menos no que se refere à formação de cientistas, que “o contexto da pedagogia difere quase do mesmo modo do contexto da descoberta e da justificativa” (KUHN, 2011, p. 346). Isto é, menospreza-se discussões do processo científico em função de uma reconstrução ahistórica do seu produto. Em suas palavras:

No ensino de ciências, as teorias são apresentadas em conjunto com aplicações exemplares, e essas aplicações podem ser vistas como evidências. Mas essa não é sua função pedagógica principal (e os estudantes de ciência sempre se mostram dispostos a aceitar a palavra dos professores e dos textos). Sem dúvida, algumas delas faziam parte da evidência no momento em que as decisões efetivas foram tomadas, mas representam apenas uma fração das considerações relevantes para o processo de decisão (KUHN, 2011, p. 346).

Embora Kuhn saliente a disparidade entre a ciência que é desenvolvida pelos estudiosos e a ciência que se apresenta em sala de aula, e apesar de não considerar relevante o uso da história na formação de cientistas, ele chama a atenção para aquilo que não é discutido (no ensino, nos manuais, etc.) quando os estudiosos estão diante de escolhas teóricas; os distintos valores e os seus juízos por exemplo. O aluno, nessa perspectiva, pode ter uma falsa impressão de que apenas valores epistêmicos, ou ainda, apenas valores epistêmicos específicos – como a precisão – são decisórios em um debate.

Extrapolando os objetivos kuhnianos, considera-se que muitas das ponderações de Kuhn sobre a temática dos valores e sua relação com o embate pré ou paradigmático podem ser levadas ao ensino de ciências, buscando uma articulação com as pesquisas que vêm sendo

realizadas nessa área de investigação. As ideias e reflexões que apresenta em termos dos contextos DJ, da relação entre ciência e valores, da história e filosofia da ciência para a compreensão do funcionamento da ciência podem ser de extrema relevância para uma educação científica que visa romper com estereótipos acerca do desenvolvimento científico.

A discussão de que valores, epistêmicos ou não, influenciam a tomada de decisão teórica – ou, como aponta McMullin, estão diretamente ligados ao modo como uma controvérsia pode terminar – pode auxiliar os estudantes a terem uma visão mais real, humana e contextualizada acerca das querelas na ciência. Afinal, o estudioso em meio a sua pesquisa é influenciado por valores e crenças, coletivas ou individuais:

[...] aquilo que de um ponto de vista pode parecer vagueza e imperfeição dos critérios de escolha concebidos como regras pode, quando os mesmos critérios são vistos como valores, parecer um meio indispensável de distribuir o risco que sempre está envolvido na introdução de uma novidade, ou em sua manutenção (KUHN, 2011, p. 352).

A relação entre ciência e valores, no âmbito da educação científica, vem ganhando espaço nacionalmente, embora essa ainda seja uma questão pouco explorada diante da consolidação do tema na filosofia da ciência.

Cordeiro (2016), a título de exemplo, apresenta um resgate das ideias de Kuhn, McMullin, Laudan e Longino com o intuito de esclarecer e fundamentar reflexões para o ensino. A autora, além de implementar uma unidade de ensino potencialmente significativa com pós-graduandos, promovendo resultados profícuos, visou evidenciar a relevância das relações entre fissão nuclear (seu estudo de caso histórico) e valores para a história, filosofia e ensino de ciências. Ademais, enfatiza que a relação entre ciência e valores aponta possibilidades para trabalhos com atividades experimentais, linguagem, educação ambiental, CTSA e questões sociocientíficas.

Lucas (2010) sistematiza uma sequência didática com foco em alunos dos anos finais da Educação Básica. Com base nas considerações de Lacey, o autor utiliza os valores cognitivos como norteadores pedagógicos facilitadores de aprendizagem a partir da análise da teoria da seleção natural de Darwin. Em Batista e Lucas (2013) e Lucas e Batista (2011) encontram-se, igualmente, contribuições para a educação científica dessa natureza.

Salvi e Batista (2008), também buscando em Lacey fundamentos filosóficos-axiológicos, desenvolvem um estudo empírico com professores a partir de uma discussão de valores cognitivos na atividade científica. Os autores enfatizam que um resgate e aprofundamento de teses filosóficas sobre a temática pode contribuir para pesquisas que vinculam história e filosofia da ciência com a educação científica.

Por certo, a necessidade de discussões histórico-filosóficas no ensino vem sendo defendida há décadas (HODSON, 1986; MATTHEWS, 1995; McCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998; PEDUZZI, 2005; MARTINS, 2006; CLOUGH; OSLON, 2008; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2012; DAMASIO; PEDUZZI, 2017). Com efeito:

Não é preciso deixar de lado os olhos críticos do presente ao se analisar o que está por trás de um passado recente, ou mesmo longínquo; é apenas necessário que esse passado seja visto, respeitado e contextualizado à luz de seus problemas e valores (PEDUZZI; RAICIK, 2017, p. 29).

Uma análise histórico-filosófica da ciência pode evidenciar que existem juízos de valor no âmbito científico e eles são fundamentais na tomada de decisão de um estudioso, para levá-lo a aceitar ou não uma teoria e para instigá-lo a buscar novas hipóteses quando necessário. A análise de uma determinada controvérsia pode explicitar as diferentes funções que o experimento assume na ciência, transcendendo uma visão puramente empírico-indutivista da mesma. Por consequência, pode evidenciar que não apenas o componente empírico, mas outros valores como os explicitados por Kuhn – precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência –, entram em cena na escolha teórica e, assim, contribuir para um melhor ensino *de e sobre* a ciência.

REFERÊNCIAS

- BAGCE, S. Reichenbach on the relative a priori and the context of discovery/justification distinction. *Synthese*, v. 181, n. 1, p. 79-93, 2011.
- BALTAS, A. Classifying scientific controversies. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS, A. (org.) **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 40-49, 2000.
- BARROTA, P.; DASCAL, M. **Controversies and Subjectivity**. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 2005.
- BATISTA, I. L.; LUCAS, L. B. Contribuições axiológicas à educação científica: valores cognitivos e a seleção natural de Darwin. *Ciência&Educação*, v. 19, n. 1, p. 201, 2013.
- BRANTE, T. ELZINGA, A. Towards a theory of scientific controversies. *Science Studies*, 2, p. 33-46, 1990.
- BULLA, M. E. **O papel das interações polêmicas (controvérsias científicas) na construção do conhecimento biológico: investigando um curso de Formação Continuada de professores sobre Evolução Humana**, 2016. 261 f. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

BULLA, M. E.; MEGLHIORATTI, F. A. Controvérsias científicas na construção do conhecimento biológico: Investigando um curso de formação continuada de professores referente à Evolução biológica humana. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 2, p. 01-29, 2016.

CLOUGH, M. O.; OSLON, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, p. 143-145, 2008.

CORDEIRO, M. D. **Ciência e valores na história da fissão nuclear: potencialidades para a educação científica**. 2016. 228 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. **Revista Labore em Ensino de Ciências**, Campo Grande, v. 1, n. 1, p. 14-34, 2016.

ECHEVARRÍA, J. **Filosofía de la ciencia**. Ediciones Akal, 1995.

ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology**. New York: Cambridge University Press, 2003.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

GOODWIN, W. Structure and Scientific Controversies. **Topoi**, n. 32, p.101–110, 2013.
HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v.20, n. 2, 1988.

HODSON, D. Philosophy of Science and Science Education. **Journal of Philosophy of Education**, v. 20, n. 2, p. 215-225, 1986.

HOYNINGEN-HUENE, P. **Reconstructing scientific revolutions: Thomas S. Kuhn's. Philosophy of science**. University of Chicago Press, 1993.

KUHN, T. S. **A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **O caminho desde a estrutura**. São Paulo: Livraria UNESP, 2006.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 5ª, 1998.

KUHN, T. S. Reflexões sobre os meus críticos. In: LAKATOS, I; MUSGRAVE, A. (Org.). **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo: Cultrix, 1979.

LAKATOS, I. **Matemáticas, ciencia y epistemologia**. Madrid: Alianza Editorial, 1987.

LIMA, I. P. C. **O uso de controvérsias científicas para a compreensão da natureza da ciência: o caso do princípio de ação mínima**, 2014. 116 f. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

LORETO, M. L.; MASSARANE, L. M.; MOREIRA, I. C. Repercussões do caso Lysenko no Brasil. In: 14º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, 2014. Belo Horizonte, Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. **Anais...**Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.

LUCAS, L. B.; BATISTA, I. L. Contribuições axiológicas e epistemológicas ao ensino da teoria da evolução de Darwin. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 245, 2011.

LUCAS, L. B. **Contribuições axiológicas e epistemológicas ao ensino da teoria da evolução de Darwin**. Dissertação de mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS, A. Scientific Controversies: An Introduction. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS (org.) **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 3-17, 2000.

MARTINS, R. A. Introdução: história da ciência e seu uso 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, 2006.

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.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

McCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The nature of science in science education: in introduction. **Science & Education**, v. 7, p. 511-532, 1998.

McMULLIN, E. Scientific controversy and its termination. In: ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. (org.) **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology**. New York: Cambridge University Press, p. 49-92, 2003.

MENDONÇA, A. L. O.; VIDEIRA, A. A. P. A assimetria entre fatos e valores: a herança de Kuhn nos Science Studies. In: CONDÉ, M. L. L.; PENNA-FORTE, M. A. **Thomas Kuhn: a Estrutura das Revoluções Científicas [50 anos]**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

PEDRO, A. P. Ética, moral, axiologia e valores: confusões e ambiguidades em torno de um conceito comum. **Kriterion**, n. 130, p. 483-498, 2014.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência**. Agosto, 2017, 51 p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015.

RAICIK, A.C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.1, p. 42-62, 2018.

REICHENBACH, H. **La filosofia científica**. México: Fondo de cultura económica, 1953.

REIS, P. R. Ciência e Controvérsia. **REU**, v. 35, n. 2, p. 09-15, 2009.

SALVI, R. F.; BATISTA, I. L. A análise dos valores na educação científica: contribuições para uma aproximação da filosofia da ciência com pressupostos da aprendizagem significativa. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 3, n. 1, p. 43, 2008.

SIEGEL, H. Justification, Discovery and the Naturalizing of Epistemology. **Philosophy of Science**, v. 47, n. 2, p. 297-321, 1980.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, p. 9-40, 2012.

Capítulo 6

A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal

6 A RÃ ENIGMÁTICA E OS EXPERIMENTOS EXPLORATÓRIOS: DOS ESTUDOS INICIAIS DE GALVANI À SUA TEORIA DA ELETRICIDADE ANIMAL⁵⁶

The enigmatic frog and the exploratory experiments: from Galvani's early studies of his theory of animal electricity

Resumo

As pesquisas elétricas de Luigi Galvani, que culminaram com a formulação da teoria da eletricidade animal e, posteriormente, suscitaram uma das mais emblemáticas controvérsias na história da ciência com Alessandro Volta, evidenciam uma profícua relação entre hipóteses e experimentações. Este artigo busca contextualizar os estudos iniciais de Galvani fazendo vínculos de suas experimentações com a ideia baconiana de *experientia literata* e, sobretudo, com a concepção de experimentação exploratória na perspectiva de Friedrich Steinle. Ao final, apresenta algumas implicações desse resgate histórico-filosófico para um ensino *sobre* a ciência.

Palavras-chave: Luigi Galvani; eletricidade animal; *experientia literata*; experimentação exploratória; ensino.

Abstract

Luigi Galvani's electrical research, culminating in the formulation of the animal electricity theory and then evoke one of the most emblematic controversies in the history of science with Alessandro Volta show a fruitful relationship between hypotheses and experiments. This article seeks to contextualize Galvani's initial studies by linking his experiments with the baconian idea of *experientia literata* and, above all, with the conception of exploratory experimentation from Friedrich Steinle's perspective. In the end it presents some implications of this historical-philosophical rescue for a education about science.

Keywords: Luigi Galvani; animal electricity; *experiential literata*; exploratory experimentation; education.

6.1 INTRODUÇÃO

A eletricidade é um dos campos que mais fascinou os estudiosos ao longo da história da ciência, embora o seu desenvolvimento sistemático tenha ocorrido no século XVII. As pesquisas modernas, que apresentaram relevantes contribuições tanto para a compreensão da eletricidade quanto do magnetismo, têm com a obra *De Magnete*, publicada em 1600 por William Gilbert (1544-1603), o seu prelúdio – embora, é claro, à sombra das “almas” do âmbar e do ímã, fenômenos dessas naturezas já intrigavam os gregos antigos (ASSIS, 2011).

No entanto, é no século das luzes que, no âmbito da filosofia experimental, a eletricidade adquire ainda mais ímpeto. É nesse período, sobretudo, que demonstrações

⁵⁶ Com pequenas alterações este artigo está publicado em Revista Brasileira de História da Ciência, v. 12, n. 1, p. 114-137, 2019.

espetaculares, surpreendentes e curiosas instigavam estudiosos e leigos; os poderes extraordinários da eletricidade estavam presentes nas bancadas de laboratórios, nas mentes dos que buscavam incessantemente entender seus funcionamentos, nas sensações sentidas pelas faíscas no corpo daqueles que, pelos mais diversos motivos, dispunham-se a experimentar e a sentir, mas também nas exposições públicas que visavam o entretenimento, tão somente.

No final do século XVIII, importantes achados teóricos e dispositivos práticos já haviam sido realizados na eletricidade, como a máquina eletrostática, por Francis Hauksbee⁵⁷ (1666-1713), a repulsão elétrica e as eletricidades vítrea e resinosa, por Charles de Cisternay Du Fay (1698-1739), os isolantes (elétricos) e os condutores (não-elétricos), a comunicação da virtude elétrica por contato e a distância, por Stephen Gray (1666-1736), a proposição de um único fluido elétrico, positivo e negativo, por Benjamin Franklin (1706-1790), a garrafa de Leiden, por Ewald von Kleist (1700-1748) e Petrus van Musschenbroek (1692-1761), o eletróforo de Johan Carl Wilcke (1732-1796), melhorado e popularizado por Alessandro Volta (1745-1827) (ASSIS, 2018).

Nesse período, circundado por essas novas concepções e aparelhagens, Luigi Galvani (1737-1798) impulsiona os estudos elétricos com o seu *De viribus electricitatis in motu musculari* (Comentários sobre o efeito da eletricidade nos movimentos musculares), datado de 1791, mas publicado em 1792 (BERNARDI, 2000). Galvani sustenta que há uma forma intrínseca de eletricidade envolvida na condução nervosa e na contração muscular.

Em um jogo de constantes variações e repetições experimentais, a investigação eletrofisiológica de Galvani é marcada por momentos fortuitos, diálogos entre hipóteses e experimentações, uma busca obstinada para desvendar ‘segredos da natureza’. Profundamente enraizado em concepções de Francis Bacon (1561-1626), Issac Newton (1642-1727), Robert Boyle (1627-1691), Marcello Malpighi (1628-1694), o seu experimentalismo apresenta sobreposições com a chamada *experientia literata* (experiência instruída) baconiana (BACON, 1882; RAICIK, PEDUZZI, ANGOTTI, 2018).

Isto é, para além da influência baconiana referente as premissas filosóficas presentes no *Novum Organum* – que visava apresentar ‘o verdadeiro caminho’ para a investigação da natureza – os experimentos de Galvani podem ser considerados exemplos de *experientia*

⁵⁷ No século XVII, Otto von Guericke já havia elaborado um dispositivo constituído de um globo de enxofre móvel em torno de um eixo de madeira. Este aparato dá a Guericke, normalmente, o título de ter sido o inventor da máquina eletrostática. No entanto, sua intenção com esse dispositivo foi desenvolver uma réplica da Terra e não uma máquina geradora de eletricidade. Nesse sentido, atribui-se à Hauksbee a invenção do primeiro dispositivo desenvolvido com a finalidade de ser um gerador de eletricidade, em 1705 (BONAUDI, 1993; ASSIS, 2011; RAICIK; PEDUZZI, 2016).

literata. Os experimentos galvânicos evidenciam muitas das características experimentais que Bacon preconizava em *Of the Dignity and Advancement of Learning*⁵⁸.

Para Bacon a experiência instruída teria duas funções principais na investigação da natureza. Uma delas seria a de gerar experimentos que propiciam a descoberta de causas e princípios; seu outro papel seria o de preparar a mente para o trabalho de interpretação (BACON, 1882). Por meio de algumas técnicas, regras ou estratégias práticas para se realizar uma pesquisa, ele salienta que experiências desse tipo guiam o investigador a observações da natureza, mediante algumas técnicas, a saber: variação, produção, translação, inversão, compulsão, aplicação, conjunção e acasos, de experimentos (RAICIK, PEDUZZI, ANGOTTI, 2018).

Essas técnicas contribuem para um esquema classificatório, onde o contexto experimental é variado de modo a permitir a elaboração de analogias ou correlações da natureza. Com efeito, variação, esquemas classificatórios, não prescindem de escolhas teóricas, ou por assim dizer, de hipóteses previamente estabelecidas. Embora Bacon não tenha explicitado a relação entre hipótese e experimentação, isto é visível nas técnicas da experiência instruída.

Não obstante, um dos aspectos mais notórios nos estudos iniciais de Galvani, sobretudo aqueles relativos aos primeiros experimentos apresentados no *De viribus* e de outros relatados em algumas de suas Notas, é a semelhança de seu processo investigativo com os experimentos exploratórios, delineados pelo historiador da ciência alemão Friedrich Steinle (1957-). Essa classe de experimentos, frequentemente, surge ao longo da história da ciência em períodos em que não se tem um quadro teórico bem definido em uma determinada área do conhecimento. Diferindo de experiências subordinadas por uma “teoria-orientada”, em que se segue, por exemplo, um roteiro específico onde já estão pré-estabelecidos os passos procedimentais e o resultado já é esperado, em princípio, a experimentação exploratória, por sua vez, pode desempenhar um papel chave dentro da formação e estabilização de conceitos e esquemas classificatórios.

Como frisa Steinle (1997, 2002, 2016), os experimentos exploratórios apresentam princípios norteadores; entre os mais importantes, destaca-se a variação sistemática de

⁵⁸ Em *Of the Dignity and Advancement of Learning*, publicado em 1623, Bacon apresenta uma classe de experiências que denominou *experientia literata*. A análise dessa classe experimental, e sua relação com a concepção presente em sua obra máxima, *Novum Organum*, está sendo objeto de pesquisa entre estudiosos e historiadores da ciência nas últimas décadas. Um estudo nacional mais detalhado sobre o tema pode ser encontrado em Raicik, Peduzzi e Angotti, 2018.

parâmetros experimentais e, por consequência, a análise de quais modificações são indispensáveis para o efeito em questão e aquelas que podem ser deixadas de lado, o estabelecimento de regras empíricas estáveis, a formação de esquemas representacionais adequados que permitam estabelecer algumas regras básicas gerais, a formulação de arranjos experimentais que envolvam apenas as condições indispensáveis, etc.

Todavia, “longe de ser um jogo sem sentido com um aparelho, a experimentação exploratória pode ser caracterizada por diretrizes definidas e metas epistêmicas” (STEINLE, 2002, P. 419). A busca de regularidade empírica versus o teste de expectativa é um deles. Aliás, tanto a experimentação exploratória, quanto a instruída, são dirigidas por preocupações epistêmicas; ambos os tipos de experimentação visam explorar um problema, investigar, compreender a natureza. Conquanto, estão distantes de apenas vir a corroborar ou refutar teorias. Nesse sentido, os estudos de Galvani representam um caso da História da Ciência que reforça a tese de Steinle, exemplifica o conceito do autor e apresenta sobreposições com a concepção de *experientia literata* baconiana.

Cabe frisar que, para Bacon, a experiência instruída, apesar de estar diretamente ligada aos métodos de experimentação, é mais uma sagacidade, uma ‘caça pelo faro’, do que propriamente uma ciência. A experimentação exploratória, na concepção de Steinle, ao contrário, é realmente um importante processo experimental que faz parte da ciência, de maneira prolífica, diga-se de passagem (RAICIK, PEDUZZI, ANGOTTI, 2017a, p. 5).

Galvani e seus assistentes, alheios aos simples testes de hipóteses, buscavam ‘questionar a natureza’, desvendar suas obscuridades. Metodologias gerais, típicas dos *experimentos exploratórios e instruídos*, como a verificação, a otimização, a simplificação e a variação fizeram parte de um processo que teve por intuito entender as contrações musculares de uma rã e sua relação com a eletricidade (TRUMPLER, 1997). As distintas hipóteses suscitadas, por vezes explícitas, eventualmente embutidas na percepção de momentos casualmente oportunos, fazem parte de “um processo complexo que pode ter origem na imaginação fértil, inspiradora, porventura em ideias especulativas, à [sic] qual subjaz um fundo reflexivo” (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002, p. 254).

Nessa perspectiva, este artigo busca contextualizar os estudos iniciais de Galvani até a sua formulação da teoria da eletricidade animal, apresentada no *De viribus*, fazendo relações explícitas tanto com a *experientia literata* baconiana quanto, e principalmente, com as *experimentações exploratórias*. Esses contrapontos propiciam uma melhor compreensão epistemológica do processo construtivo da teoria galvânica e sua relação com as distintas e variadas experimentações desenvolvidas. Esse caminho exemplifica uma ciência dinâmica, em

que experimentos, perante um diálogo constante com hipóteses, permitem variar, duvidar, analisar e, atentamente, se deparar com o inesperado.

Por fim, apresenta implicações dessas considerações para um ensino *sobre* a ciência. A análise de um episódio histórico, juntamente com a reflexão do papel da experimentação em seu desenvolvimento, pode contribuir proficuamente para minimizar o estereótipo de que o experimento tem o papel exclusivo de testar teorias e não comporta, em sua essência, o diálogo constante com as hipóteses.

6.2 LUIGI GALVANI E SUA FORMAÇÃO ACADÊMICA

Deixe-nos rasgar o véu, cuja modéstia cobriu os talentos desse laborioso fisiologista, coloquemos todo o zelo para elevar o brilho de seu mérito, que ele parecia escondê-lo. Quão linda é, quão útil é, essa instituição que confere ao gênio as honras extintas da apoteose! (ALIBERT, 1806, p. 188).

Luigi Galvani nasceu em 1737 em Bolonha, na atual Itália. Influenciado por preceitos religiosos desde cedo, aos quinze anos quase fez votos religiosos para uma vida no sacerdócio. Desencorajado de fazê-los, em 1755 ingressa na Faculdade de Artes⁵⁹ da Universidade de Bolonha pelo qual obteve, em 1759, seu diploma de filosofia e medicina. Em sua formação, Galvani realizou leituras de clássicos como Hipócrates (460-377 a. C), Cláudio Galeno (129-200), Avicena (980-1037) e teve como principais professores Jacopo Bartolomeo Beccari (1682-1766), Domenico Gusmano Galeazzi (1647-1731) e Giovanni Antonio Galli (1708-1782) que se inspiravam na visão malpighiana de ‘medicina racional’⁶⁰.

A fim de ingressar na carreira acadêmica ele defendeu publicamente, em 1762⁶¹, a tese sobre desenvolvimento ósseo *De ossibus thèses physico-medico-chirurgicce*. Isso permitiu que ele se tornasse anatomista honorário na Universidade e membro do Instituto de Ciências de Bolonha, passando a ser professor remunerado no final daquela década, em 1768, depois de ter

⁵⁹ Existiam dois principais grupos na Universidade de Bolonha na época do ingresso de Galvani; os ‘juristas’ e os ‘artistas’, sendo possível por meio deste último a obtenção do diploma de filosofia e/ou medicina (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

⁶⁰ Marcello Malpighi (1628-1694) pode ser considerado, de acordo com alguns autores e historiadores, um dos mais importantes autores da anatomia microscópica moderna e crítico do que considerava a visão de medicina “dogmática e retrógrada” dos antigos (PICCOLINO, 1999; REVÉRON, 2011). O termo ‘racional’, na perspectiva malpighiana, é bastante amplo, podendo englobar um sistema derivado de deduções lógicas, realizações do estudo experimental de organismos e, em geral, qualquer progresso científico relevante. “Ele sabia que o estudo das variedades em todos os seus aspectos era a maneira de penetrar o íntimo *design* da natureza e esta busca nunca poderia ser puramente descritiva” (PICCOLINO, 1999, p. 178).

⁶¹ Bresadola (1998) destaca a apresentação pública de *De ossibus* como tendo ocorrido em 1761. Contudo, Dibner (1971), Alibert (1806), Pupilli (1953), Heilbron (1991) e inclusive Bresadola com Picollino (2013) defendem que Galvani a defendeu em 1762.

cumprido com a realização de palestras anuais de Anatomia Pública. A função dessas palestras não era a de ser, puramente, uma aula de anatomia teórica, tampouco a dissecação para instrução de alunos (FERRARI, 1987), mas “um show extraordinário em que visitantes estrangeiros e cidadãos bolonheses podiam admirar - talvez com um pouco de repulsão - o interior de um corpo humano exposto em todos os seus detalhes mais íntimos” (PICOLLINO; BRESADOLA, 2013, p. 37).

O Instituto tornou-se um dos principais centros científicos do século XVIII e foi criado por Luigi Ferdinando Marsili, um aprendiz de Marcello Malpighi. A principal diferença entre o Instituto e a Universidade estava na concepção de ensino. Embora os professores fossem geralmente os mesmos, a última era focada em ler e comentar textos antigos e dogmáticos, enquanto o primeiro, imerso em livros, instrumentos e laboratórios, primava a prática com máquinas e aparelhos. “A tradição experimental newtoniana teve uma influência profunda na abordagem científica adotada pelo Instituto de Ciências, cujo lema era ‘um Instituto que ensinaria através dos olhos e não dos ouvidos’” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 34). Com efeito, as suas atividades eram consideradas complementares àquelas da Universidade (BRESADOLA, 1998).

Em 1764⁶², Galvani se casou com Lucia Galeazzi (1743-1788), filha de seu professor Galeazzi. Como poeticamente escreve Alibert (1768-1837), em seu *Éloge* (1806, p. 190): “com quase trinta anos, ele estava embriagado com a felicidade de amar e ser amado”. Lucia, além de esposa, foi companheira de seu marido durante suas pesquisas, tendo atuado tanto como assistente de laboratório quanto tradutora e revisora (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Na época, a Universidade de Bolonha já havia reconhecido mulheres com habilidades notáveis, a exemplo de Laura Bassi (1711-1778), professora de filosofia natural, e Anna Morandi (1714-1774), que desenvolveu réplicas anatômicas em cera. Inicialmente, Bassi foi indicada para proferir palestras, mesmo que não lhe fosse permitido ministrar aulas regularmente, isso já foi um passo importante para uma mulher pesquisadora naquela época. Embora posteriormente ela tenha sido formalmente nomeada como professora, suas atividades eram restritas. “Ela foi impossibilitada de apresentar suas ideias e trabalhar na Academia por causa da forte oposição à sua participação por vários membros, por causa de seu sexo” (FRIZE, 2013, P. 50). Dessa forma, ela chegou a realizar aulas em casa e “criou um laboratório no qual continuou seu trabalho em física experimental por muitos anos” (FRIZE, 2013, P. 50). Nesse sentido, é

⁶² Bresadola (1998) e Dibner (1971), por exemplo, destacam que Galvani e Lucia se casaram em 1762. Picollino e Bresadola (2013), no entanto, enfatizam que o casamento ocorreu em 1764.

provável que Lucia tenha aspirado uma carreira universitária e tenha recebido instrução de seu pai sobre os principais assuntos científicos no momento, como a teoria da irritabilidade de Albrecht von Haller (1708-1777), a garrafa de Leiden e as memórias de Jean-Antoine Nollet (1700-1770) (FULTON; CUSHING, 1936). Além disso, ela recebeu instrução em assuntos como história e religião, estudando também latim e italiano (JARDIM; GUERRA, 2018).



Figura 1⁶³- “Luigi Galvani realiza experimentos na presença de familiares”, pintura a óleo sobre tela de Antonio Muzzi (1862), Museu de Ciência e Arte do Palazzo Poggi em Bolonha. A mulher à direita, em primeiro plano, seria sua esposa Lucia Galeazzi.

Ao se casar com Lucia, Galvani passou a desfrutar do amplo e equipado laboratório doméstico que seu sogro possuía. Em 1769, tornou-se assistente de seu sogro no curso de anatomia prática realizado em sua residência. Foi eleito presidente da Academia de Ciências de Bolonha em 1771 e, quatro anos depois, com a morte de Galeazzi, foi nomeado para ocupar seu lugar como professor de anatomia.

Sendo que a aplicação terapêutica da eletricidade passou a ser comum na época, Galvani, por ser médico, também se interessou pela então chamada ‘eletricidade médica’. Ele acreditava, e isso ficou evidente em suas palestras de Anatomia Pública, que a terapia médica estava, de certa forma, ligada à anatomia e à fisiologia (BRESADOLA, 1998). Para ele, o

⁶³ Extraída de Archivio Storico Dell'università' Di Bologna: www.archivistorico.unibo.it

propósito da anatomia era, de fato, descobrir as relações entre a organização do corpo humano e suas funções vitais. Galvani iniciou sua investigação influenciado pelo Instituto, a Universidade e suas experiências em hospitais. Ele, literalmente, germinou em um meio profundamente enraizado nas concepções de Bacon, Boyle, Newton, Malpighi, como citado. Isso significa que ele primou pela observação e experimentação e compreendeu que a ciência deveria ter uma utilidade, no seu caso, com a aplicação médica no tratamento de doenças. Por certo, Marsili, Beccari (membro da Royal Society), junto de Galeazzi, igualmente uma das figuras mais proeminentes da época, visavam o desenvolvimento de uma ciência com utilidade social, pública e coletiva, à luz do ideal baconiano.

Em 1790, aos quarenta e sete anos, Lucia faleceu.

Após este infortúnio irreparável, Galvani caiu em uma melancolia profunda, cujo tempo e distrações não podiam suavizar sua amargura. No interior de sua moradia, em lugares públicos ou na solidão do campo, em todos os lugares, ele se achava dolorosamente ocupado com uma memória tão dolorosa; em todos os lugares encontrou apenas a sombra melancólica de sua Lucie (ALIBERT, 1806, p. 193).

O tom dramático atribuído por Alibert pode expressar a intensidade da perda de Galvani. Não obstante, foi no ano seguinte que ele publicou sua mais impactante obra, o *De viribus*. Antes de comentar seus experimentos eletrofisiológicos, é preciso apontar as principais teorias que contribuíram para os seus estudos do movimento muscular.

6.3 AS IMERSÕES DE GALVANI ÀS NOVAS CONCEPÇÕES CIENTÍFICAS DA ÉPOCA: O FLUÍDO NERVO-ELÉTRICO E OS PEIXES ELÉTRICOS

Desde a Antiguidade estudiosos buscavam explicar e entender o mecanismo responsável pelas contrações musculares. A concepção mais antiga, predominante já no século I com o legado de Galeno, admitia que uma entidade invisível e sem peso, então chamada ‘espírito animal’, era responsável pela sensação e movimento muscular. Os espíritos fluíam do cérebro para os músculos, através dos nervos, onde provocavam contrações (HOME, 1970).

Essa teoria perdurou e, embora alguns estudiosos discordassem de sua explicação, até o século XVIII ninguém havia conseguido, efetivamente, propor noções alternativas. Herman Boerhaave (1668-1738) buscou estabelecer as propriedades desse suposto fluido ou espírito animal, e defendeu que ele deveria ser muito sutil, rápido e possuir uma natureza material, mesmo que não produzisse aumento no tamanho do músculo. Conquanto, a teoria que conseguiu balançar os alicerces da concepção dos espíritos animais foi a de Albrecht Von

Haller, professor de anatomia, cirurgia e medicina da Universidade de Gottingen, um dos estudiosos mais prolíferos e famosos da época e aluno de Boerhaave.

Até então havia o pressuposto de que um músculo só se contraía em resposta ao impulso que era transmitido pelo nervo. Haller, por meio de uma série de experimentos, constatou que, ainda que se cortasse a ligação músculo-nervo, um estímulo no músculo provocava contração. Nesse sentido, ele publicou em 1753⁶⁴ a sua teoria da ‘sensibilidade’ e da ‘irritabilidade’; se a parte estimulada do animal apresentasse contração, então ela era irritável, se o animal demonstrasse agitação ou sinais de dor, então a parte incitada era considerada sensível.

Haller argumentou que a sensibilidade era uma propriedade dos nervos enquanto a irritabilidade era uma propriedade intrínseca aos músculos e independente do nervo. A partir desse critério, ele estava estabelecendo, pela primeira vez, um mapeamento sensitivo e motor do corpo animal (RUSSO, 2004). Contrariando a versão tradicional de Galeno, ele defendeu então que a contração muscular era uma função que não dependia da ação nervosa. A irritabilidade era, por certo, inerente ao músculo e sem causa conhecida (HOME, 1970). A teoria halleriana suscitou grande interesse e causou um intenso debate durante a década de 1750; ela estava, como qualquer nova teoria na ciência, propensa a consensos e discordâncias. Leopoldo Macr’Antonio Caldani (1725-1813) e Felipe Fontana (1730-1805), por exemplo, defenderam essa ideia.

Nesse período já era comum a utilização da garrafa de Leiden para provocar contrações. Muitos estudiosos, dessa forma, começaram a supor que o fluido nervoso poderia ter, na realidade, natureza elétrica. Tommaso Laghi (1709-1764), anatomista da Universidade de Bolonha e médico muito influente foi um dos críticos mais ferrenhos da teoria do movimento muscular apresentada por Haller rejeitando, principalmente, a independência do nervo para as contrações nos músculos (BRESADOLA, 1998). Ele alegou que a ruptura do nervo com o músculo poderia mostrar, tão somente, que havia permanecido uma porção do espírito animal no respectivo músculo e que isso provocava sua contração. Apresentando uma nova explicação para as contrações musculares, Laghi admitiu que era possível que os espíritos animais tivessem uma natureza elétrica e que as contrações musculares ocorressem devido à atração ‘eletrostática’ provocada pelo fluxo de fluido elétrico do nervo para o músculo (HOME, 1970).

⁶⁴ Sua obra *De partibus corporis humani sensilibus et irritabilibus* foi publicado originalmente em latim, em 1753, mas lida na Sociedade Real de Gottingen em maio de 1752 (RUSSO, 2004).

Caldani, a partir de experimentos de Fontana e à luz da teoria halleriana, defendeu que nas contrações musculares, provocadas por descargas elétricas, a eletricidade era o mais poderoso estímulo da irritabilidade sendo essa, de fato, a real causa das contrações. Além disso, ele e Fontana apresentaram objeções à concepção de Laghi, entre elas a de que sua reivindicação à teoria nervo-elétrica (neuroelétrica) contrariava as leis da eletricidade da época. Essa última crítica se baseava na noção de que a eletricidade apenas poderia produzir efeitos se houvesse um desequilíbrio elétrico entre nervos e músculos. Contudo, isso não poderia ocorrer se o nervo fosse um condutor igualmente como o músculo, como as experiências evidenciavam, tampouco se o nervo fosse um isolante pelo qual não permitiria a passagem do fluído para o músculo.

A incongruência da teoria nervo-elétrica, nos termos laghilianos, é reiterada por Haller que sinaliza que o fluído nervoso não pode ser de natureza elétrica, pois se o fosse, seria inevitável a disseminação do fluído elétrico às outras fibras musculares que não apenas uma; isto é, ao invés do movimento de um dedo, uma pessoa moveria a mão como um todo, uma vez que o fluído elétrico passaria de um nervo para outro.

Com efeito, a teoria de Haller predominou nas décadas seguintes até que em 1770 estudos sobre peixes elétricos retomaram a querela entre hallerianos e adeptos da teoria nervo-elétrica. As investigações de John Walsh (1726-1795), John Hunter (1728-1793), Henry Cavendish (1731-1827) por exemplo, trouxeram evidências claras de que os choques produzidos por alguns peixes específicos, como os torpedos e as enguias, tinham natureza elétrica (BRESADOLA, 1998).

A comparação do choque de peixes elétricos com o choque causado pela eletricidade artificial, tornou-se viável depois da invenção da garrafa de Leiden. Nessa perspectiva, Walsh realiza uma longa e minuciosa investigação sobre o torpedo, verificando que os seus efeitos eram transmitidos por metais, mas não por isolantes. Logo, concluiu que seu choque tinha natureza elétrica. Embora tenha chegado a essa importante constatação, ele não havia conseguido produzir uma faísca com a eletricidade do peixe até 1776 quando, desenvolvendo experimentos com enguias, gerou uma centelha. A partir dessas evidências as objeções ao fluído elétrico pelos hallerianos, por exemplo, começaram a ficar enfraquecidas (KOEHLER; FINGER; PICCOLINO, 2009; JENSEN, 2008). Cabe ressaltar que Walsh observou a faísca da enguia apenas uma vez e que esse feito ficou conhecido apenas por testemunhas oculares, e não através de uma publicação. Isso não impediu, todavia, que vários estudiosos atribuíssem natureza elétrica para a enguia e, inclusive, para o torpedo (KIPNIS, 1987).

Os experimentos de Walsh foram relevantes, sobretudo, para se pensar o papel da eletricidade naquele contexto histórico. O próprio Fontana, defensor da teoria de Haller, sugeriu em 1781 uma explicação neuroelétrica para o movimento muscular, uma ideia completamente distinta daquela adotada por ele em anos anteriores. Mas como Fontana frisou, embora os estudos com peixes elétricos tivessem trazido evidências de uma visão nervo-elétrica para as contrações musculares, isso ainda era uma analogia. Por certo, em um período em que a experimentação está sendo altamente valorizada, analogias deveriam ser substituídas por experimentos concretos.

Galvani foi um dos estudiosos que propôs uma explicação neuroelétrica para o movimento muscular. Diferente de Laghi, e outros adeptos dessa vertente, ele iniciou uma pesquisa sistemática em sapos⁶⁵ e outros animais, amparada em um constante diálogo entre hipótese e experimentações. Literalmente um projeto de vida, essa pesquisa durou até seus últimos dias.

Na década de 1770 Galvani havia realizado leituras acerca da teoria de Haller e se interessado pelo problema do movimento muscular. Todavia, registros de suas primeiras notas datam de 1780.

Conforme ele frisa em *Saggio sulla forza nervea e sua relazione colle'eletricità* (Ensaio sobre a força nervosa e sua relação com a eletricidade), de 1782:

Como vários anatomistas tem pensado que o fluido elétrico ou entra na composição desse fluído muito sutil que se considera, e não sem razão, fluir através dos nervos, ou é este mesmo o próprio fluido nervoso, então eu decidi realizar alguns experimentos nos nervos com o fluído elétrico, na esperança de que eles pudessem revelar a verdade ou pelo menos contribuir para lançar alguma luz sobre a obscuridade dos fenômenos dos nervos (GALVANI, 1782 apud PERA, 1992, p. 64).

As observações de Caldani e Fontana, assim como a concepção de que a eletricidade tinha um papel nas contrações musculares, foram imprescindíveis para a escolha de Galvani por essa investigação. Além disso, sua imersão à medicina prática e a constatação dos efeitos elétricos do torpedo e da enguia, tiveram igualmente contribuição. Com efeito, Galvani estava interessado em estudar o mecanismo que envolvia o movimento muscular, independente da 'ação da vontade humana', uma concepção obscura em uma ciência experimental. Nesse sentido, experimentos envolvendo animais, notadamente sapos, que continuavam a se contrair em condições específicas depois de mortos, passou a ser um caminho para se chegar a respostas

⁶⁵ Neste artigo sapos e rãs serão utilizados como sinônimos.

concretas acerca das incógnitas que ainda permeavam a condução nervosa e a contração muscular (BRESADOLA, 2003).

6.4 OS ESTUDOS DE GALVANI: O (BRILHANTE) ENAMORADO PELA RÃ ENIGMÁTICA

Galvani inicia a descrição de seus experimentos, no *De viribus*, relatando que dissecou e preparou uma rã. A escolha por envolver sapos nas investigações do movimento muscular não foi isenta e aleatória. No século XVII, por exemplo, Malpighi já havia utilizado esse animal em suas pesquisas com pulmões. Mas são as características desse anfíbio que o torna extremamente adequado: i) seus nervos são facilmente localizáveis e separados; ii) suas contrações musculares são evidentes; iii) suas contrações duram um tempo conveniente depois de sua morte (até 44 horas como constatado posteriormente por Galvani).

Ainda que a preparação de Galvani não fosse inteiramente original – Caldani e Fontana, a título de exemplo, com o intuito de ‘testar’ a teoria halleriana, fizeram um preparo semelhante – foi ele “quem fez desta preparação um dos objetos experimentais mais famosos e repetidamente usados na história da ciência da vida” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 75). Ela consistia em cortar os sapos de modo a deixar apenas os seus membros inferiores, esfolados e esvaziados, unidos ao nervo crural. O nervo poderia ficar livre e solto ou ligado à medula espinhal⁶⁶.

Em novembro de 1780, Galvani já relatava experimentos em que investigava os efeitos de uma descarga elétrica em sapos dissecados preparados de “maneira usual”⁶⁷. Com efeito, muitos experimentos desenvolvidos por ele nessa década, e não relatados no *De viribus*, mas em cadernos de laboratório (Notas), recentemente analisados (PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013; BRESADOLA, 2003), são extremamente importantes para entender o seu processo investigativo.

⁶⁶ Embora tenham surgido críticas quanto a validade que poderiam ter experimentos que envolviam animais mortos, referentes, por exemplo, à estimulação de tecidos vivos, é com eles que Galvani conseguia distinguir movimentos produzidos por causas mecânicas, quando o sapo estava sem vida, daqueles sensoriais, ocultos ao observador.

⁶⁷ O fato de Galvani sublinhar, no manuscrito *Memorie ed esperimenti inediti*, que os sapos foram preparados de “maneira usual” gerou, entre historiadores da ciência, distintas interpretações sobre o quê, especificamente, ele se referia. Como ressaltam Piccolino e Bresadola (2013), Pera (1992) e Bresadola (2003), a título de exemplo, a princípio se poderia supor que Galvani já havia realizado experimentos eletrofisiológicos anteriormente (mas sem registro), o que justificaria a frase. Mas ele poderia estar se referindo às preparações desenvolvidas com sua pesquisa com corações. Contudo, o mais provável é que Galvani estivesse fazendo menção à prática tradicional dos fisiologistas da época.

Na primeira fase de suas pesquisas, que visavam compreender o movimento muscular por meio do uso de eletricidade artificial, Galvani buscou verificar se o estímulo atuava nos nervos ou no músculo. Além disso ele se preocupou, sobretudo, com duas questões que haviam sido levantadas por hallerianos à Laghi: i) os efeitos da ligadura do nervo (nervo-músculo); ii) as propriedades condutoras ou isolantes dos nervos.

Determinar se um corpo era eletricamente isolante ou condutor era, de fato, uma das tarefas primárias ao se considerar esse corpo do ponto de vista dos fenômenos elétricos (...). Embora em sua bancada de laboratório estivessem essencialmente apenas rãs e alguns equipamentos elétricos, eles podiam ser conectados de diversas maneiras. Um grande número de decisões tinha que ser tomada ao se preparar uma experiência: qual parte do sapo considerar e como prepará-la, onde colocá-la, qual instrumento elétrico usar, como produzir o estímulo elétrico, em qual parte do animal aplicá-lo e de que maneira, e onde, colocar todos esses itens na bancada. Cada decisão produzia uma combinação diferente dos itens e, portanto, um experimento diferente (BRESADOLA, 2003, p. 74).

Nesse processo, Galvani realiza vários experimentos que podem ser considerados *exploratórios* (STEINLE, 1997). Isto é, experimentos que, embora apresentem autonomia quanto a um corpo teórico bem fundamentado e estabelecido, podem ser sistemáticos e dirigidos, inclusive epistemicamente: objetivam, por vezes, entender, compreender, ‘descobrir’ enigmas da natureza. O anatomista de Bolonha, a partir da preparação usual de rãs, aplica descargas elétricas em sua medula espinhal, nervo crural e músculos; ele usa fios e diferentes objetos metálicos para direcionar o estímulo elétrico. Em um jogo constante de variações e repetições, dirigidas à luz de seus pressupostos, com resultados inconclusivos, ocasionalmente, mas que permitem a análise de diferentes dados, ele utiliza a garrafa de Leiden e o ‘quadrado mágico’ de Franklin⁶⁸ criando distintos arranjos experimentais.

A partir do conjunto de experimentos desenvolvidos entre novembro e dezembro de 1780, em que Galvani, por vezes, isola o nervo e a medula espinhal de um sapo da sua parte inferior, e utiliza o quadrado de Franklin, ele obtém algumas conclusões acerca das questões que o motivaram, supracitadas acima. Dentre elas a de que as contrações só ocorriam se o nervo estivesse envolvido, o que contrariava a teoria da irritabilidade. Além disso, os experimentos pareciam evidenciar que os nervos eram maus condutores. Esse fato desfavorecia ainda mais

⁶⁸ A garrafa de Leiden é instrumento que, atualmente, podemos denominar de condensador ou capacitor. Uma de suas funções é armazenar cargas elétricas. “Na garrafa de Leiden há uma abundância de fluido elétrico no interior do vidro e uma deficiência correspondente no lado de fora. Completando o circuito restaura-se o equilíbrio. Franklin mostrou que uma garrafa não é necessária para esse efeito. Poder-se-ia coletar eletricidade com um painel plano de vidro com uma fina folha de metal na parte superior e inferior. Este condensador plano ficou conhecido por vários nomes, incluindo *quadratum magicum* (quadrado mágico) de Franklin” (FINGER, PICCOLINO, 2011, p. 169). O “quadrado mágico” de Franklin, ou simplesmente o “quadrado de Franklin” é, portanto, uma versão plana de um capacitor elétrico.

Haller no que se refere a disseminação do fluido elétrico para mais de um nervo (uma das críticas hallerianas à concepção nervo-elétrica de Laghi).

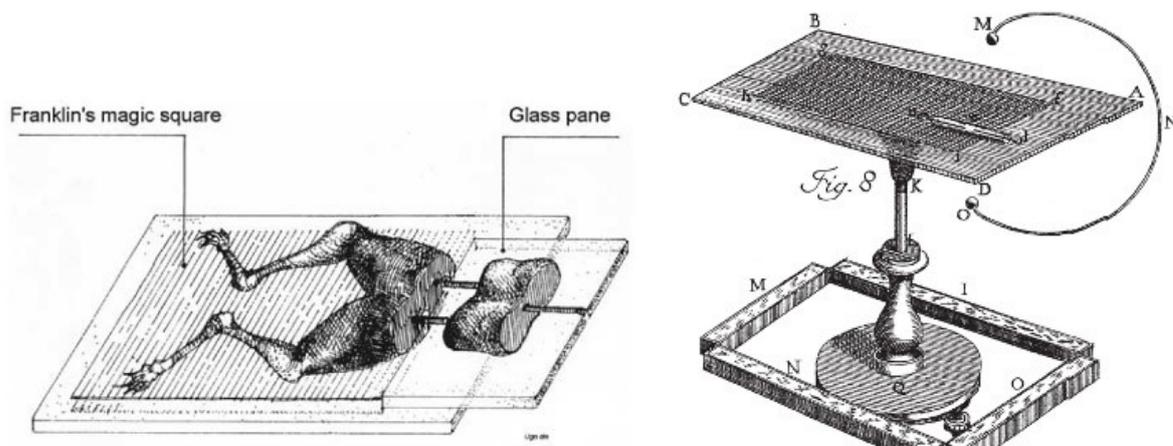


Figura 2 – Representação de um dos experimentos de Galvani, realizado em 9 de dezembro de 1780, à esquerda. Utilizando um quadrado de Franklin (à direita), Galvani isola o nervo e a medula espinhal (apoiando-os em uma base de vidro) da parte inferior do sapo. O quadrado de Franklin, considerado o primeiro capacitor elétrico plano, consiste em uma placa de vidro plana revestida com folha de metal em ambas as faces. Imagens extraídas de Piccolino e Bresadola (2013) e Finger e Piccolino (2011), respectivamente.

O certo é que no final de dezembro Galvani escreve um tratado sobre “força neuromuscular”⁶⁹ com três leis: 1) A contração muscular produzida pela irritação do nervo é proporcional às menores partes do nervo movidas pelo estímulo e à força pela qual são movidas; 2) Independente da causa irritante, ela é local, não indo além do ponto de aplicação; 3) A comunicação e propagação da ação irritante, ou do movimento induzido, depende apenas do nervo (BRESADOLA, 2003). “Essas leis eram de natureza fenomenológica, no sentido de que visavam reduzir os fenômenos às regras gerais, sem se referir a um modelo teórico específico” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 82). A partir dessas leis e de outro conjunto de experimentos, Galvani apresenta dois corolários: i) os nervos são, de fato, maus condutores elétricos; ii) muito pouco fluido elétrico já é capaz de provocar contrações.

Prosseguindo com sua investigação, agora se voltando à relação entre o sapo, a máquina eletrostática utilizada e o quadrado de Franklin, ele desenvolve experimentos, também não relatados no *De viribus*. Um deles, projetado em 17 de janeiro do ano seguinte, consistia em colocar um sapo preparado em uma base de vidro isolante e, separadamente, um quadrado de Franklin, ambos conectados a uma máquina eletrostática [fig. 3].

⁶⁹ Por força neuromuscular Galvani estava se referindo a um “princípio muito ativo presente nos nervos” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 81).

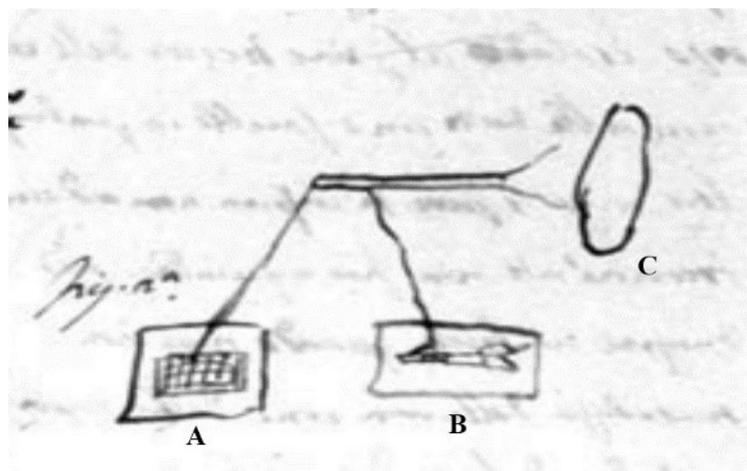


Figura 3 – Esquema do experimento de 17 de janeiro de 1781, apresentado por Galvani em suas Notas de laboratório: A - o quadrado de Franklin; B - o sapo preparado de 'maneira usual'; C - a máquina eletrostática. Imagem extraída de Bresadola (2003).

Após ter carregado a parte superior do quadrado de Franklin e o sapo com a máquina eletrostática, Galvani conecta a parte inferior do quadrado (não eletrizada) com a medula espinhal do animal através de um arco condutor, observando contrações nas pernas desse último. Galvani apresenta duas hipóteses que poderiam explicar o fenômeno. Uma delas admitia que as contrações ocorriam devido à eletricidade da máquina acumulada no sapo; a outra referia-se à eletricidade intrínseca da rã colocada em movimento pelo estímulo elétrico produzido pela máquina eletrostática.

Esse experimento não foi projetado para testar uma hipótese, mais especificamente a concepção neuroelétrica. Ele abriu caminho para novas conjecturas acerca do papel da eletricidade nas contrações musculares. Como salienta Steinle (2002), as experimentações *exploratórias*, no domínio de suas diversas funções, podem ter por característica gerar e nortear novos conhecimentos. Esse tipo de experimento, normalmente, envolve a variação de um grande número de parâmetros experimentais, a análise desses parâmetros e seus efeitos no fenômeno em questão. No âmbito dos experimentos que Galvani realizou até então, essas possíveis explicações – uma delas fazendo menção pela primeira vez a uma eletricidade que seria intrínseca da rã, no *De viribus* chamada de eletricidade animal – foram fruto de um constante diálogo entre hipóteses e variações experimentais. A mais importante, talvez, foi a de separar completamente o sapo do quadrado de Franklin, até então não isolados; como se percebe na comparação entre as figuras 2 e 3.

Não obstante, Galvani não descarta outras viáveis explicações. As contrações poderiam ocorrer devido a um resíduo de eletricidade no revestimento inferior do quadrado de Franklin, que flui para o sapo, pela pressão ‘mecânica’ do arco condutor na medula espinhal ou

ainda em consequência de um fluido elétrico acumulado na base de vidro no qual o sapo estava apoiado. Ele analisa sistematicamente cada uma dessas conjecturas, novamente repetindo e variando experimentos desenvolvidos anteriormente e, nem sempre, encontrando resultados muito claros.

6.4.1 O “primeiro experimento”: o acaso inapto ou a casualidade destinada a uma mente preparada?

Em 26 de janeiro de 1781 algo inesperado aconteceu. Uma rã estava preparada, de maneira usual, sobre uma base de vidro e próxima, mas sem contato físico, com uma máquina eletrostática. Como Galvani relata em suas Notas, quando Lucia, sua esposa, ou um de seus assistentes aproximou o dedo da máquina elétrica, provocando uma chispa, ao mesmo tempo em que alguém manuseava o nervo crural ou a medula espinhal da rã com um bisturi, ou apenas o aproximava do nervo ou medula, houve contrações, ainda que nenhum condutor estivesse conectado à base no qual o sapo se encontrava (PERA, 1992; BRESADOLA, 2003; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

Galvani inicia a parte I de seu *De viribus* relatando esse maravilhoso e surpreendente momento fortuito. Este famoso experimento das contrações a distância é conhecido como o “primeiro experimento” (PERA, 1992; HOFF, 1936):

Quando, por acaso, um daqueles que me ajudavam tocava suavemente a ponta de um bisturi nos nervos crurais medianos de uma rã [preparada], imediatamente todos os músculos dos membros aparentavam estar tão contraídos que pareciam ter caído em convulsões tônicas violentas. Mas outro dos assistentes, que estava no controle enquanto eu fazia experimentos elétricos, parecia observar que isso ocorria sempre que uma centelha era descarregada do condutor da máquina. Ele, imaginando a novidade do fenômeno, imediatamente me informou do mesmo (...). Depois disso, fui impulsionado com incrível zelo e desejo de produzir a mesma experiência e de trazer à luz tudo o que pudesse estar escondido no fenômeno (GALVANI, 1953, p. 24).

Esta observação era inesperada à luz das concepções estabelecidas por Galvani em suas experiências anteriores. As condições experimentais eram, agora, totalmente novas. Nenhuma das hipóteses levantadas anteriormente parecia conseguir explicar o que havia ocorrido. A sua causa era desconhecida. Reproduzindo-a, Galvani constata que, de fato, ocorriam fortes contrações. A casualidade, que não foi a única em seus estudos, desencadeia inúmeros outros experimentos que, dialogados com distintas hipóteses elaboradas, clareiam a relação da eletricidade com o fenômeno da contração.

Bacon, ao tratar das técnicas da *experientia literata*, que servem para guiar o investigador a observações da natureza, frisa que o acaso ocorre não porque a razão ou algum outro experimento conduz a isso, mas simplesmente porque ele nunca foi tentado antes. A noção casual baconiana está relacionada àquilo que é necessário, em um processo investigativo, para se chegar a algo novo. Isto é, o acaso “só pode acontecer no final de um processo disciplinado de investigação (...) aparece como coroamento de um longo, disciplinado e metucioso processo de descoberta” (JALOBEANU, 2016, p. 339). Isto parece representar, nada menos, que a necessidade da interpretação de um acaso; a busca pela causa do fenômeno observado.

Não obstante, Galvani foi acusado, inclusive por Alessandro Volta (com quem trava uma controvérsia acerca da eletricidade animal), de ignorar a ação da atmosfera elétrica do condutor. Em 1779, dois anos antes do experimento casual de Galvani, Charles Stanhope (1753-1816) descreveu o fenômeno conhecido como ‘choque de retorno’ pela primeira vez e que poderia, ao menos a princípio, oferecer um esclarecimento ao fenômeno observado. A explicação baseava-se no conceito atual de indução eletrostática. O certo é que o ‘choque de retorno’ foi apenas um aspecto parcial, secundário, diante do complexo e surpreendente fenômeno que atraiu a atenção de Galvani (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Este episódio, longe de parecer um acaso inapto por conta de conceitos elétricos conhecidos ou não pelo anatomista, evidencia a relevância do reconhecimento de momentos casuais, quando visto por olhos curiosos e qualificados, para um prosseguimento investigativo promissor. Pera (1992) afirma que o argumento de que Galvani era ignorante em eletricidade – e por isso exaltou de forma desmedida o fenômeno casualmente observado – é infundado. Ele se voltou à teoria das atmosferas elétricas materiais e apresentou seis razões que excluía a ação das atmosferas elétricas. Como o autor ressalta, no entanto, anos depois o anatomista teria, possivelmente, aperfeiçoado seu conhecimento em eletricidade recorrendo explicitamente à teoria do ‘choque de retorno’ em termos das atmosferas elétricas, embora não as tenha concebido como simples ‘esferas de ação’ como fez Volta⁷⁰.

Em 31 de janeiro de 1781, por exemplo, o anatomista desenvolve experimentos em que verifica, entre outras coisas, que o fenômeno das contrações ocorreu da mesma forma quando várias faíscas foram produzidas. Isto revelava a insuficiência de uma explicação pautada na influência elétrica do condutor, pois as contrações deveriam aumentar proporcionalmente à atmosfera elétrica. Além disso, se as contrações ocorressem, de fato, pela

⁷⁰ Com efeito, essa mudança em termos da concepção de eletricidade animal de Galvani não teve impacto relevante. Para maiores detalhes e esclarecimentos sugere-se a leitura de Pera (1992).

ação da centelha da máquina elétrica, então o fenômeno só ocorreria se o sapo estivesse a pouca distância da máquina. Contudo, ele observa contrações mesmo a uma distância de dois metros entre eles (PICCOLINO, BRESADOLA, 2013).

Com efeito, Galvani, Lucia e assistentes, como seus dois sobrinhos Camillo Galvani (1753-1828) e Giovanni Aldini (1762-1834), buscam desenvolver inúmeros experimentos, recolher distintos dados que os fazem prosseguir em seus estudos. Cada novo experimento realizado traz a expectativa de novos resultados (TRUMPLER, 1997). A princípio, pensou Galvani, as contrações musculares poderiam ter ocorrido pelo contato com o bisturi. Desta forma, ele testa o mesmo experimento sem provocar qualquer chispa elétrica. No entanto, não houve movimento nas pernas da rã. Parecia que o efeito demandava o contato do bisturi com o nervo e, simultaneamente, a descarga de uma máquina elétrica. Utilizando sempre o mesmo bisturi, observa que por vezes a contração ocorria, ora não. Por conseguinte, “impulsionados pela novidade da circunstância, resolvemos testá-la de várias maneiras” (GALVANI, 1953, p. 25).

Galvani e colaboradores variam a distância entre o sapo e a máquina eletrostática, o instrumento com o qual tocou o anfíbio, as partes que foram tocadas, a base pelo qual o sapo foi apoiado, etc. A repetição é uma das técnicas da *experientia literata* e também da experiência *exploratória*, que permite encontrar regras empíricas estáveis. Nesse episódio, há uma clara variação de parâmetros experimentais; característica essencial de ambas as experimentações.

No *De viribus*, Galvani e seus assistentes salientam que as contrações musculares no sapo dependem do manuseamento do bisturi. Quando ele era segurado pela mão não provocava nenhum movimento muscular, pois sua alça era de osso, isto é, isolante. Contudo, quando sua lâmina era tocada (ou os pregos que fixavam a lâmina) com o dedo, então as contrações sempre ocorriam por ocasião de uma faísca produzida na máquina elétrica. Outras constatações foram feitas quando substituíram o bisturi por um cilindro de vidro ou de ferro.

Com o cilindro de vidro, não apenas tocamos, mas esfregamos os nervos, quando a centelha foi provocada, mas mesmo com todo o nosso esforço, o fenômeno nunca apareceu, embora inumeráveis e violentas faíscas fossem obtidas a partir do condutor da máquina, e a uma curta distância do animal; mas ela [a contração] apareceu quando o cilindro de ferro foi, ainda que ligeiramente, aplicado aos mesmos nervos sob escassas faíscas provocadas (GALVANI, 1953, p. 25).

O contato de um objeto condutor com os nervos parecia essencialmente necessário. O próximo passo visou analisar se o fenômeno se devia ao homem que segurava o cilindro ou apenas a este último. Eles aplicam o cilindro de ferro diretamente aos nervos, mas não constata movimento perceptível quando da produção de uma chispa. Houve contração na rã,

no entanto, quando eles conectam um longo fio aos nervos a fim de verificarem a necessidade da presença do homem no processo. Como explicita Galvani (1953), por perspicuidade, e não brevidade, chamaria o condutor de nervo-condutor. Os parâmetros que afetam a ocorrência do fenômeno e a verificação de sua necessidade para que o efeito ocorra são minuciosamente analisados. Esta é uma das características da *experimentação exploratória* (STEINLE, 1997; 2002). Em analogia, uma das técnicas mencionadas por Bacon faz menção aos experimentos concebidos até seu extremo poder, isto quer dizer que “ao estabelecer os limites, os fatores relevantes identificados para a ocorrência de efeitos são testados” (GEORGESCU, 2011, p. 110). A título de exemplo, o processo de inversão também pode ser aqui associado. Ele se refere à investigação de resultados experimentais em situações opostas, como os obtidos quando uma rã estava presa a um condutor isolado e a um não isolado. Outras experiências, com algumas modificações distintas daquelas até aqui descritas, foram desenvolvidas. Nesses casos, assim como nos anteriores, percebe-se que os experimentos envolvem a análise, a sistematização, a busca por regularidades empíricas; procedimentos típicos tanto da experiência instruída quanto da experimentação exploratória (RAICIK; PEDUZZI, ANGOTTI, 2017a).

Ainda que a observação casual das contrações à distância tenha sido surpreendente e desencadeado inúmeros outros experimentos, ela por si não era um indicativo da existência da eletricidade animal. Embora para Galvani, que a analisou com olhos de fisiologista e repleto de pressupostos, ela tenha trazido elementos valiosos que abriam ainda mais o caminho nessa direção (PERA, 1992). Em síntese, ele se centrou na descrição dos aspectos fenomenológicos que estavam envolvidos nas contrações, uma vez que não havia conseguido, até então, desenvolver um modelo explicativo capaz de revelar a sua genuinidade causal. O certo é que as contrações a distância não implicavam – e isso ficou cada vez mais claro com os inúmeros experimentos desenvolvidos e suas distintas variações e parâmetros – em uma simples ação passível de ser explicada, em definitivo e inquestionavelmente, pelas atmosferas elétricas; mais especificamente, pela teoria do choque de retorno.

6.4.2 O “segundo experimento”: a sagacidade em um momento fortuito

Galvani retorna mais ativamente sua investigação com rãs, desenvolvendo experimentos com eletricidade atmosférica, apenas em 1786. A descontinuidade entre seus experimentos anteriores e os que agora serão contextualizados, ainda que não possa ser considerada uma ruptura completa, deve-se em grande parte ao seu envolvimento com outros

projetos de pesquisa e também devido sua função como professor do Instituto de Ciências – atividade que requeria muito de seu tempo (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

Parcialmente relacionados aos seus interesses em eletrofisiologia, os estudos de Galvani, nesse ínterim, visam analisar os aspectos químicos e físicos do organismo, relacionando mecanismos fisiológicos com a pneumática. Seu objetivo era estudar os gases contidos nos tecidos e órgãos animais, com o intuito de compreender seu papel na composição corporal. Ele constata que o ar inflamável (hidrogênio) estava presente em partes sólidas e fluídas de animais, e era abundante, particularmente, nos nervos. A presença desse gás inflamável, portanto, evidencia uma substância oleosa e isolante na composição dos nervos. Ele inclusive apresenta um modelo para o nervo constituído por uma matéria interna condutora cercada por uma espécie de capa isolante. Isso contrasta com a ideia tradicional de que os nervos eram formados por cavidades ocas por onde os ‘espíritos animais’ fluíam. Além disso, esses seus estudos lhe permitem, analogicamente, supor que o movimento muscular poderia ser uma espécie de explosão; a eletricidade difundida na atmosfera poderia penetrar no animal e atuar sobre os fluidos promovendo, por exemplo, contrações (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Esta é uma clara evidencia de que Galvani não deixou de pensar em sua pesquisa anterior. Aliás, essa hipótese permeia a experiência descrita por ele quando retoma sua investigação das contrações musculares.

Com o propósito de verificar, então, se um sapo se contraía da mesma forma quando excitado por uma eletricidade ‘natural’, e não artificial, Galvani projeta um experimento, em 26 de abril de 1786, no terraço de sua casa envolvendo a eletricidade atmosférica das nuvens que descarregavam em uma tempestade [fig. 4].

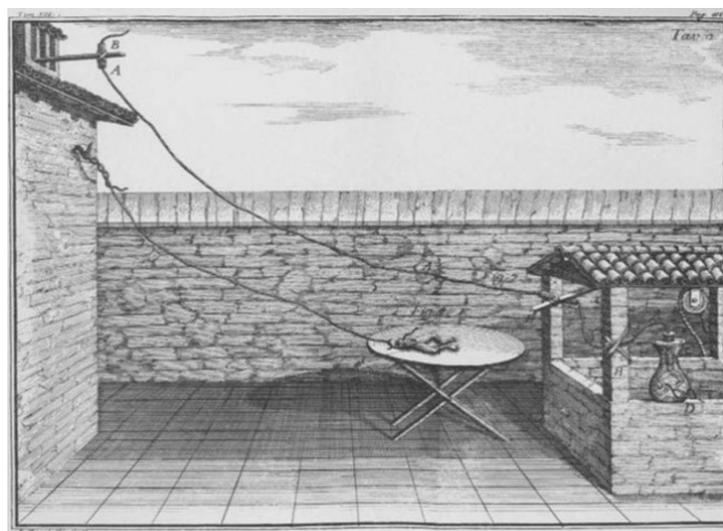


Figura 4 – Experimento de Galvani envolvendo eletricidade atmosférica. Imagem extraída de Galvani, 1953.

O experimento consistia em anexar a um longo fio de ferro, pendurado em uma parede alta, os nervos de uma rã preparada que se encontrava dentro de uma garrafa sobre um poço do qual recebia outro fio de ferro colocado no músculo do sapo. Conjuntamente, como se pode ver na figura 4, um outro fio de ferro, suspenso na parede e sem relação com o anterior, está conectado a um sapo que se encontra em uma bancada. Quando de uma descarga elétrica, houve contrações do mesmo modo que nos experimentos com eletricidade artificial. “Sempre que o relâmpago estourou, no mesmo instante, todos os músculos caíram em contrações violentas e múltiplas” (GALVANI, 1953, p. 36); nesse caso, no entanto, com maior intensidade.

Galvani, e assistentes, desenvolvem variações no arranjo experimental, realizando experimentos tanto em dias com relâmpagos quanto naqueles meramente tempestuosos. Até mesmo sob o céu tormentoso, com nuvens carregadas, mas sem descargas, foi possível verificar contrações no sapo. Em consequência desses resultados, o anatomista conclui em junho, a título de exemplo, que a rã poderia ser considerada um eletrômetro; o mais sensível já descoberto (PERA, 1992).

Em setembro frente a novas e relevantes observações, onde o acaso se faz presente (ROBERTS, 1993), a pesquisa galvânica toma um rumo imprescindível para o debate posterior com Volta. Era comum que se colocassem rãs preparadas como de costume, penduradas por ganchos de bronze, nas grades (trilhos) de ferro que rodeavam o terraço na casa de Galvani [fig. 5]. Eventualmente, ele havia percebido que elas se contraíam na presença de relâmpagos. Persuadidos a investigar com mais cuidado a causa desses movimentos musculares, Galvani e seu sobrinho Camillo visaram verificar se eles também ocorriam em um dia calmo e sereno, ou seja, buscaram analisar se eles aconteciam devido as mudanças na eletricidade atmosférica (HEILBRON, 1991). Esperaram por um longo tempo, mas como Galvani frisa, “cansados com vãs expectativas, comecei a pressionar os ganchos de bronze, pelos quais suas medulas espinhais foram fixadas, contra as grades de ferro” (GALVANI, 1953, p. 40) e, por consequência e surpresa, “as rãs começaram a exhibir movimentos espontâneos, irregulares e frequentes” (GALVANI, 1841; PERA, 1992, p. 81).



Figura 5⁷¹ – À esquerda trilhos (grades) do terraço da casa de Galvani em Bolonha, na rua Ugo Bassi, 26. À direita uma ilustração de Galvani do *Le Journal de la Jeunesse*, Paris, 1880.

A princípio, o anatomista cogitou que a eletricidade atmosférica poderia ter se introduzido no sapo, se acumulado nele e, com o contato do gancho com a grade de ferro, ter provocado uma descarga elétrica suficiente para ativar o fluido nervoso. Contudo, com seu rigor experimental, Galvani realiza o experimento em um ambiente fechado e isolado; variando os metais, os lugares, os dias e as horas, como ele salienta em seu *De viribus* (GALVANI, 1953), e as contrações musculares sempre ocorreram. As contrações, com efeito, não apresentaram relação com os eventos atmosféricos.

Em 20 de setembro daquele mesmo ano, mais uma vez variando sistematicamente os componentes experimentais, característica típica das *experimentações exploratórias*, Galvani percebe que, quando o sapo, preparado como anteriormente com um gancho de bronze em sua medula espinhal, foi colocado sobre placas de metais e essas entraram em contato com o gancho, ocorreram contrações musculares (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Todavia, o mesmo não foi observado quando as placas eram de materiais isolantes. No *De viribus* o anatomista explicita que esse resultado levou à “suspeita da própria eletricidade inerente ao animal” (GALVANI, 1953, p. 41).

Um dos experimentos que colabora com essa suspeita envolvia a suspensão de um sapo pela sua medula espinhal, sem o gancho, de modo a permitir que suas pernas ficassem sobre uma placa de metal. Quando essa placa foi tocada com outro metal, o sapo apresentou

⁷¹ A imagem à esquerda foi extraída de Archivio Storico Dell'università' Di Bologna: www.archivistorico.unibo.it; A imagem à direita foi extraída de www.britannica.com

contrações. Entretanto, se uma pessoa segurasse o sapo e outra tocasse a base de metal, então, nenhuma contração ocorria. Isto parecia evidenciar que o fenômeno se assemelhava ao circuito de uma garrafa de Leiden. A contração poderia ser induzida nos músculos estabelecendo um circuito entre músculo e medula espinhal por meio de um condutor. Cabe ressaltar que, para Galvani, o que prevalecia era o fato de o material ser condutor, e não a sua dissimilaridade que, como se verá a seguir, apenas potencializava o fluxo da eletricidade.

Não obstante, um experimento variante ao descrito acima corrobora a analogia entre a garrafa de Leiden e o fenômeno muscular. Ele consiste em manter um sapo suspenso por uma de suas pernas de forma a permitir que um gancho, novamente colocado em sua medula espinhal, toque a superfície de uma placa de metal [fig. 6].



Figura 6- O “segundo experimento” de Galvani, realizado em 20 de setembro de 1786. Imagem extraída de Galvani, 1953.

Quando uma das pernas da rã tocava a base metálica, juntamente com o gancho, contrações musculares eram observadas. A perna se contraía, levantava, relaxava, caía e, em seguida, levantava novamente, “de modo que, como um pêndulo elétrico, ela parecia imitá-lo, para admiração e prazer do observador” (GALVANI, 1953, p. 44). Esse experimento, sobretudo por sua importância histórica, é conhecido como o “segundo experimento”.

O “segundo experimento” traz evidências claras, para Galvani, de que há uma forma intrínseca de eletricidade no sapo. As contrações foram obtidas sem uma faísca sendo produzida artificialmente, nem qualquer outro tipo de eletricidade. Além disso, sua importância é evidenciada pela consequência da analogia com a garrafa de Leiden e a visível ideia de um circuito elétrico. As contrações ocorreram pela disparidade entre o fluido elétrico contido no nervo e no músculo que, ao serem conectados por um arco condutor, permitiam que o fluido se

movesse do nervo para o músculo provocando movimentos musculares. Ao se estabelecer o equilíbrio a perna caía novamente, de modo que o circuito era reestabelecido.

Na continuidade de sua pesquisa, Galvani desenvolve um modelo físico para as contrações musculares a partir da analogia estabelecida, mas transcendendo-a (PICCOLINO, 2006).

6.4.3 Dilemas e soluções: da analogia ao modelo da garrafa de Leiden animal

A hipótese da eletricidade animal com base no desequilíbrio entre nervo e músculo trouxe consigo a necessidade de se identificar onde a eletricidade era positiva (em ‘maior quantidade’) e onde era negativa (em ‘menor quantidade’) no arranjo experimental. Galvani precisava eliminar, ainda, a suposição de que a eletricidade pudesse estar na placa de metal ou no arco condutor. Para isso, além de desenvolver experimentos, ele fez uso de argumentos favoráveis à eletricidade intrínseca do animal como uma estratégia de persuadir outros estudiosos de sua convicção. Nesse curso, “seu escrúpulo e atitude crítica são admiráveis” (PERA, 1992, p. 87).

A partir dos conhecimentos físicos da época, não era possível que em dois pontos de uma placa de metal houvesse desequilíbrio elétrico sem a influência de fontes externas de eletricidade, com exceção da turmalina; que por sua característica peculiar e não comum, não poderia servir de regra. Não bastasse o argumento físico, Galvani salienta que experimentos – no qual o sapo foi colocado em uma base de vidro, isolante, ao invés de uma placa de metal e sua medula espinhal foi conectada ao músculo – mostraram que as contrações ocorriam. Também não parecia plausível admitir que a eletricidade estava no arco condutor, na perspectiva de Galvani; por ser sutil (fino e curto) não poderia conter ‘cargas’ opostas suficientemente fortes para produzir contrações. Novamente, ele faz uso de experimentos para auxiliar no corte da suposição, sobretudo eliminando uma possível eletricidade proveniente da atmosfera ou daquele que segurava o arco. Ao isolar o arco condutor, por meio de um cilindro de vidro, e imergindo o sapo em azeite, para eliminar qualquer possível influência elétrica do ambiente externo, conseguiu igualmente contrações musculares.

Persuadido a desvelar a pertinência da hipótese da eletricidade animal, o anatomista alega razões pertinentes a ela. O caso do torpedo, que também apresentava desequilíbrio elétrico, foi citado. Ele também enfatiza a heterogeneidade das substâncias que compõem os músculos e os nervos. Elas eram parcialmente condutoras e isolantes e diferiam do arco, por

exemplo, que era composto de um único metal. Galvani desenvolve, ainda, mais uma analogia; agora com o eletróforo⁷² popularizado e aperfeiçoado por Volta. Esse aparelho era composto de discos com diferentes substâncias, condutoras e isolantes, portanto heterogêneas. Dessa forma, ele admite que no tecido muscular poderia haver um desequilíbrio elétrico e ele poderia ser considerado um eletróforo animal. Essa conjectura, no entanto, não contribuiu para entender o mecanismo pelo qual as contrações, de fato, ocorriam e, em sua Memória de 1786, ele não manifesta detalhes da analogia (PICCOLINO, 2006).

A questão da eletricidade de metais dissimilares era outro dilema do qual Galvani tinha de lidar – por certo, ela servirá de base para a primeira teoria da eletricidade de Volta, posteriormente. O anatomista observou, durante seus experimentos, a necessidade de se utilizar distintos metais para o arco condutor e a placa metálica que apoiava o sapo. Não obstante, ele negou um papel ativo e relevante aos diferentes metais. Se havia a necessidade de dois metais, então o desequilíbrio não poderia se encontrar no metal, e isso corroborava o que os físicos afirmavam. Tão somente, enfatizou ele, a ‘bimetalidade’ era apenas um melhor estímulo ao fluxo do fluido elétrico (PERA, 1992).

Paradoxalmente, enquanto a eficiência de diferentes metais na obtenção de contrações foi considerada por Volta como um argumento fundamental contra a ideia de eletricidade animal, ela foi considerada por Galvani como um argumento a favor da existência desse tipo de eletricidade e da sua peculiaridade em comparação a outras formas de eletricidade (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 130).

Além disso, alguns experimentos evidenciaram que as contrações musculares poderiam ser produzidas conectando apenas duas partes do mesmo nervo ou músculo com um condutor. A princípio, essa questão deixava dúvida a hipótese do desequilíbrio nervo-músculo. Contudo, Galvani alega que a ligação até então utilizada era mais eficiente e essa observação poderia ser considerada irrelevante, ou uma anomalia secundária (PERA, 1992).

Designado a ir além, o anatomista transcende os sapos ‘preparados de modo usual’ para animais vivos com nervos intactos. Ele buscava analisar os efeitos dos experimentos realizados em condições fisiológicas normais, utilizando cordeiros, pássaros, quadrúpedes, tartarugas e pintinhos, por exemplo (GALVANI, 1953). Em conclusão, depois de também

⁷² O eletróforo foi inventado por Johan Carl Wilcke que publicou seus resultados em 1762. “O eletróforo foi melhorado e popularizado por Alessandro Volta ao redor de 1775. O nome “eletróforo” é devido a Volta, sendo derivado das palavras gregas para “âmbar” e “portador”, elétron e foro, significando um portador de eletricidade. Este instrumento é muitas vezes chamado de “eletróforo de Volta” embora tenha sido inventado por Wilcke” (Assis, 2018, p. 120). O aparelho era “capaz de produzir cargas elétricas por um processo que atualmente chamamos de indução eletrostática. O eletróforo era constituído por dois discos metálicos, estando o disco inferior recoberto por uma resina isolante. O disco superior possuía uma haste isolante que permitia manipulá-lo” (MARTINS, 1999, p. 826).

constatar contrações musculares em outros animais, o anatomista evidencia que “não há dúvida sobre a existência de uma eletricidade animal comum e universal” (GALVANI, 1841; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 131).

É importante ressaltar que Galvani reconhece, e deixa claro para o seu leitor, que apesar dos detalhes fornecidos acerca dos experimentos desenvolvidos, a sua replicação deveria ser vista com cautela. A diligência dizia respeito às distintas variáveis em jogo que poderiam contribuir para a observação ou não de contrações. Quando realizados em um ambiente não isolado, por exemplo, as condições climáticas poderiam exercer um papel fundamental para movimentos musculares mais intensos. O animal utilizado também seria relevante, além do seu preparo adequado, suas condições físicas e sua idade biológica poderiam influenciar. Ele afirma que esses conselhos servem:

(...) para que ninguém, ao repetir os experimentos, ao estimar a força das contrações e da eletricidade, se engane ou pense que nos enganamos; pois ainda que essas mesmas experiências sejam tentadas várias vezes, se descobrirá várias vezes também que os fenômenos que constatamos foram produzidos por tentativas e experiências (GALVANI, 1953, p. 59).

Na prática, os experimentos estão sujeitos a falhas, a erros, a imprevistos, a especulações casuais (e a pesquisa de Galvani é um exemplo típico disso); eles não são analisados isentamente e estáveis em sua totalidade. Isso se deve, em grande parte, aos pressupostos, habilidades, condução e análise do experimentador. Ainda que *experimentações exploratórias* sejam desenvolvidas em momentos em que não há um corpo teórico constituído, elas dialogam constantemente com hipóteses que podem ser formuladas antes e durante o processo investigativo.

Efetivamente, e em síntese, até o momento Galvani admite que a eletricidade animal provinha do desequilíbrio entre nervo e músculo [fig. 7], como alega em sua Memória de 1786.

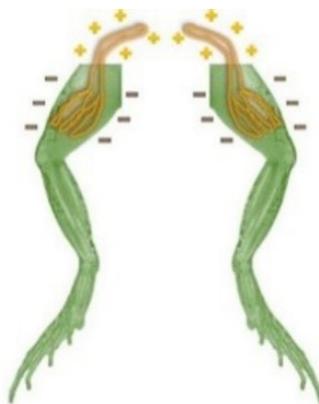


Figura 7 - Representação macroscópica do desequilíbrio elétrico entre nervo e músculo. O nervo acumula eletricidade positiva, enquanto o músculo é assento da eletricidade negativa. Fonte: Autor.

Conquanto, na quarta parte do *De viribus*, Galvani modifica essa representação e adota um modelo explicativo baseado em uma analogia funcional, além de estrutural, entre a garrafa de Leiden e o aparelho neuromuscular.

O modelo final atribuía ao músculo a função de acumular a eletricidade, permanecendo o desequilíbrio elétrico entre as superfícies interna e externa das fibras musculares [fig. 8]. As fibras nervosas atuam como condutores desse fluído elétrico contido no músculo. De forma análoga ao processo físico da garrafa de Leiden, ao se conectar nervo e músculo por meio de um arco metálico, o fluído elétrico corre do interior do músculo, via o canal interno das fibras nervosas, para o exterior do mesmo, estabelecendo um circuito.

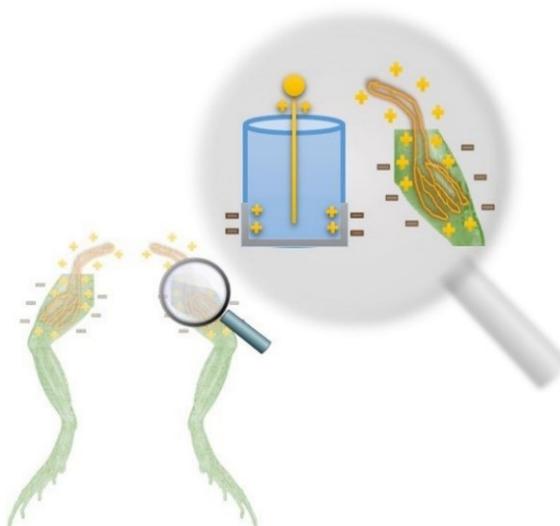


Figura 8 - O modelo definitivo de Galvani: o nervo, assim como a haste da garrafa de Leiden, serve como um condutor da eletricidade que está contida no músculo. As fibras musculares equivalem a diminutas garrafas de Leiden. Fonte: Autor.

Como supracitado, em sua Memória de 1786, Galvani estabelece uma analogia entre o músculo e o eletróforo de Volta, admitindo que poderia haver um desequilíbrio elétrico no músculo. Embora a analogia tenha se apresentado, de certa forma, obscura naquele momento, sem contribuições relevantes, na Memória de 1787 ela pode ser associada a uma outra analogia, agora com a turmalina, que foi fundamental para o seu modelo final (PICCOLINO, 2006). Isso evidencia o quão importante pode se tornar o enquadramento teórico do investigador que, em determinados momentos, recorre a concepções específicas para prosseguir com o desenvolvimento de um determinado conhecimento.

Quando joalheiros, no início do século XVIII, observaram que, quando friccionada (aquecida) a turmalina atraía cinzas, ela se tornou objeto de interesse entre filósofos naturais. Por certo, ela apresentava bipolaridade, mas essa propriedade, estava ligada à sua estrutura e constituição interna, como no imã. É nesse sentido que Galvani estabelece uma relação entre a

pedra e o aparelho neuromuscular. Essa analogia “é uma dessas metáforas físicas que são frequentes no trabalho de Galvani e que, uma vez formuladas, levou-o à elaboração de modelos explicativos novos, mais coerentes e exaustivos” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 134).

Para Galvani, as linhas transparentes e avermelhadas da turmalina equivalem ao músculo, enquanto as opacas representam as fibras nervosas dentro do tecido animal (SCHWARTZ, 2016). Na pedra, a eletricidade dupla pode se acumular nas tiras transparentes e opacas, assim como no animal ele pode se acumular na fibra muscular pelo qual penetram (e não apenas estão em contato) as fibras nervosas. Extrapolando o modelo macroscópico, essa analogia permite uma visão/idealização microscópica que contribuiu consideravelmente para o modelo final do anatomista.

Em suma, a diferença entre a analogia inicial da garrafa de Leiden e o modelo final galvânico da garrafa de Leiden animal pode ser sintetizada em, pelo menos, quatro aspectos essenciais no que se refere a esse último: i) há uma indicação da onde o desequilíbrio é acumulado e como é produzido; ii) é de natureza microscópica; iii) apresenta um mecanismo explicativo para as contrações musculares a partir da eletricidade animal; iv) supera as objeções hallerianas contra a visão neuro-muscular, uma vez que o nervo, para Galvani, era uma estrutura tubular condutora rodeada por uma camada isolante (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

Ainda em defesa da sua teoria da eletricidade animal, no *De viribus*, Galvani apresenta características comuns entre ela, a eletricidade artificial e a eletricidade do torpedo e peixes elétricos. Além disso, explicita suas conjecturas quanto à origem dessa eletricidade e a causa das contrações. Ele admite que a natureza da eletricidade animal, assim como os adeptos dos espíritos animais, está no cérebro. “Acreditamos que é igualmente verdade que a eletricidade é preparada por ação do cérebro, que é extraída do sangue, e que entra nos nervos e passa por dentro deles” (GALVANI, 1953, p. 67). No que diz respeito à maneira pela qual as contrações são induzidas, o anatomista admite que a obscuridade se sobressai. Conquanto, duas explicações surgiram: i) as contrações poderiam resultar da passagem extremamente rápida do fluído elétrico pelas fibras musculares de modo a provocar atrações violentas e peculiares das partículas que as compõem; ii) o fluxo elétrico poderia causar uma irritação mecânica nas fibras musculares ou nervosas, a partir de uma perspectiva da teoria da irritabilidade de Haller (PICCOLINO, 2006).

Efetivamente, pelo menos dez anos se passaram até que Galvani construísse e publicasse a sua teoria da eletricidade animal, termo utilizado por Pierre Bertholon (1741-1800)

alguns anos antes. Juntamente ao *De viribus*, distintas reações surgiram na comunidade em relação aos experimentos contidos na obra e sua extraordinária teoria de uma nova eletricidade.

6.5 O *DE VIRIBUS*, A SUA COMOÇÃO E CONSIDERAÇÕES PARA UM ENSINO *SOBRE A CIÊNCIA*

A publicação do *De viribus electricitatis in motu musculari* acendeu na comunidade, principalmente entre anatomistas, médicos, físicos, da Itália e toda Europa, a chama calorosa das incertezas, curiosidades e querelas trazidas com um novo conhecimento na ciência. Na última década do século XVIII, a eletricidade animal mantinha-se como um dos temas científicos mais importantes e debatidos entre letrados – acadêmicos e curiosos.

O entusiasmo com a nova teoria foi notável. As experiências, embora simples, eram fascinantes e significativas, tendo instigado diversos pesquisadores à sua realização. Mariano Fontana afirma, em carta ao próprio amigo Galvani, que “aqui agora tudo é eletricidade animal, e seu nome é famoso em Pavia” (BERNARDI, 2000). Ele enfatiza que a teoria galvânica é considerada original e que seus resultados, ao serem repetidos alguns de seus experimentos, eram exatos. Galvani havia fornecido uma descrição detalhada de suas preparações animais, dos arranjos desenvolvidos e dos seus resultados, visando, com isso, a replicação de suas experiências. Robert Boyle (1627-1691), uma das figuras mais influentes da ‘nova’ era experimental na ciência, havia frisado, à luz do legado baconiano, que os relatórios experimentais deveriam ser escritos de modo a permitir, por meio de descrições, textos, imagens naturalísticas, e afins, a replicação dos efeitos dos experimentos (RAICIK, PEDUZZI, ANGOTTI, 2017b; SHAPIN, 2013). Boyle considerava que, em certo sentido, o informe da investigação não deveria ser apenas um relato, mas uma confissão da investigação desenvolvida; com seus acertos e erros (SHAPIN, 1984). Com efeito, Galvani foi admirado, sobretudo, pela “modéstia com que falou de sua descoberta; ele explicou os detalhes com a tímida dúvida que caracteriza o conhecimento verdadeiro, e a franqueza ingênua, que sempre foi a prerrogativa dos confidentes íntimos da natureza” (ALIBERT, 1806, p. 330).

O certo é que o atraso na publicação do *De viribus* que ocorreu no início de 1792, embora seja datado de 1791, fez com que Galvani imprimisse algumas cópias e as distribuisse. Um exemplar chegou a Volta, que em maio de 1792, como chama a atenção Trumpler (1992), afirma que os experimentos feitos por Galvani não eram apenas novos e maravilhosos, mas abriam “um campo amplo de experiências tão curiosas quanto extraordinárias e extremamente

úteis” (p. 12). Inicialmente, mas por um tempo efêmero, ele acredita que o animal pudesse produzir uma eletricidade intrínseca (MARTINS, 1999). Contudo, ao passo que desenvolve os experimentos, e os modifica, ele passa da exultação à dúvida. Volta preocupou-se com a hipótese de desequilíbrio nos metais, secundarizada por Galvani pelos conhecimentos físicos da época.

No decorrer da história a hesitação deu lugar a uma das maiores controvérsias da história da ciência; mas essa é uma história a ser contada em outro trabalho. Sem dúvida, essa querela traz distintos elementos que evidenciam os possíveis papéis que o experimento pode assumir quando de debates calorosos na ciência. Longe de evidenciar um experimento definidor, a disputa permite reflexões de como pode se dar a escolha teórica na ciência, e de como elementos não empíricos, como a morte precoce de Galvani, em 1798, pode ou não influenciar no término de controvérsias (COHEN, 1992).

Galvani viveu à sombra de Volta por muito tempo, em análises históricas e em materiais didáticos. A invenção da pilha, por este último, foi um dos elementos mais impactantes que fizeram com que a investigação galvânica fosse interpretada, fria e simploriamente, no ensino, por exemplo, como a trilha que levou Volta ao seu notável invento. Para além de sua importância para a eletrofisiologia, como se buscou evidenciar no texto, os seus estudos permitem implicações ao ensino de ciências em diferentes vertentes.

A defesa em se discutir na educação científica, em distintos níveis, inclusive na formação de pesquisadores, aspectos relativos à Natureza da Ciência (PEDUZZI; RAICIK, 2017), constitui-se um propósito a ser alcançado atualmente. São infundáveis as referências na literatura que apontam a proficuidade da História e Filosofia da Ciência para esse fim (MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2005, 2011; TEIXEIRA, GRECA, FREIRE JR., 2012; FORATO, MOURA, PRESTES, 2008; SIVA, 2006; MOURA, 2014; MARTINS, 2015; DAMASIO; PEDUZZI, 2016).

A história, filosofia e a sociologia da ciência [...] podem humanizar as ciências [...] podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências [...] (MATTHEWS, 1995, p. 165).

Um resgate histórico-filosófico da ciência permite exemplificar e/ou contraexemplificar asserções relativas à Natureza da Ciência e do trabalho científico, como as que se referem a seletividade das observações e o reconhecimento das influências teóricas, filosóficas, religiosas, culturais do investigador em uma pesquisa científica, o papel dos

experimentos, inclusive os considerados, em princípio, cruciais, a dinâmica entre hipótese e experimentação, a ideia de um método único e infalível, etc.

Nesse sentido, a contextualização dos experimentos galvânicos, à luz do conceito de experiência exploratória e de experiência instruída, por exemplo, pode contribuir para minimizar-se o estereótipo de que a experimentação possui um papel limitado na ciência; como fonte (no sentido de gênese) de conhecimento ou corroboradora de teorias. Ela é parte estruturante do conhecimento científico que pode abarcar desejos elementares de obtenção de regularidades empíricas, de busca por conceitos e classificações (STEINLE, 1997). As experimentações desenvolvidas pelo anatomista e seus assistentes ressaltam que, em determinados momentos da história, o jogo dialógico entre constructos teóricos (ora bem estabelecidos, por vezes incipientes) e a investigação empírica, possibilita que o ‘cientista’ seja livre para variar, duvidar, analisar resultados esperados e, inclusive e principalmente, desprovidos de expectativas.

O acaso, tanto reconhecido por Bacon, mas sem grande importância, quanto elemento relevante para a gênese ou desenvolvimento de experimentos exploratórios, se fez presente em distintos momentos da pesquisa galvânica. A casualidade, quando encontra o sujeito que a reconhece, e não sem razões lógicas, integra o processo científico e passa a ter um papel importantíssimo, em muitos casos, para a continuidade de uma investigação, como no caso analisado.

As diferentes funções que o experimento assumiu nesse episódio histórico, suplantam uma visão puramente empírico-indutivista da ciência. Cabe ressaltar que, reconhecidas as distintas posturas epistemológicas entre a experiência exploratória e a instruída, a ideia baconiana permite, igualmente, se refletir a experimentação na ciência. As aproximações entre essas duas conceitualizações experimentais, aplicadas a um episódio específico, tende a favorecer um ensino que não busca limitar os papéis que a experimentação pode assumir na ciência.

Como salienta Steinle (2002), a análise de experimentações exploratórias pode ilustrar a necessidade de se associar estudos histórico-filosóficos para a compreensão dos experimentos. Indo ao encontro dessa colocação, o ensino pode beneficiar-se, sobretudo com discussões relativas à Natureza da Ciência, quando de uma análise histórico-filosófica de um episódio como este, repleto de nuances experimentais e sua relação com um corpo ainda incipiente de conhecimento.

Em síntese, os estudos de Galvani trouxeram consigo comoção suficiente para Alibert delicadamente sublinhar:

E todos vocês, que desejam a glória das ciências, imitem essa vida tão simples quanto virtuosa; imitem este desinteresse nobre, que o fez renunciar a bens e a fortuna, que o fez obedecer a voz de sua consciência; imitem sua infatigável paciência na pesquisa, sua sinceridade e modéstia no sucesso, sua estabilidade nos sentimentos afetuosos do coração (ALIBERT, 1806, p. 338).

Por certo, Galvani foi um estudioso importantíssimo na ciência e o desprezo conferido a ele, diante principalmente de Volta, deve ser retificado.

REFERÊNCIAS

- ALIBERT, J. L. **Éloges**: Historiques composés pour la société médicale de Paris. Paris: Crapelet, 1806.
- ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, v. 2, 2018.
- ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. São Paulo: Livraria da Física, v. 1, 2011.
- BACON, F. Of the dignity and advancement of learning, books IV-IX. In: SPEDDING, J.; ELLIS, R. L.; HEATH, D. D. (Ed.), **The Works of Francis Bacon**. Boston: Houghton, Mifflin and Company, p. 13-345, 1882.
- BERNARDI, W. The controversy on animal electricity in eighteenth-century Italy: Galvani, Volta and others. In: Bevilacqua, F.; Fregonese, L. (eds), **Nuova Voltiana: Studies on Volta and his times**, p. 101-114, 2000.
- BONAUDI, F. Groping in the dark: magnetism and electricity from prehistory to (almost) Maxwell. **Nuclear Physics B-Proceedings Supplements**, v. 33, n. 3, p. 8-20, 1993.
- BRESADOLA, M. At play with nature: Luigi Galvani's experimental approach to muscular physiology. In: HOLMES, F. L.; RENN, J.; RHEINBERGER, H. (Eds.), **Reworking the Bench: Research Notebooks in the History of Science**, p. 67-92, 2003.
- BRESADOLA, M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737-1798). **History of Neuroscience**, v. 46, n. 5, p. 367-380, 1998.
- COHEN, I. B. Foreword. In: PERA, M. **The ambiguous frog**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, p. xi-xiii, 1992.
- DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. **Labore em Ensino de Ciências**, v.1, n.1, p. 14-34, 2016.
- DIBNER, B. **Luigi Galvani**: An expanded version of a biography prepared for the

forthcoming edition of the Encyclopaedia Britannica. Norwalk: Burndy Library, 1971.

FERRARI, G. Public Anatomy Lessons and the Carnival: the anatomy theatre of Bologna. **The Past and Present Society**, n. 117, p. 50-106, 1987.

FINGER, S.; PICCOLINO, M. **The shocking history of electric fishes: from ancient epochs to the birth of modern neurophysiology**. Oxford: Oxford University Press, 2011.

FORATO, T. C. M.; MOURA, B. A.; PRESTES, M. E. B. Bibliografia sobre a utilização da história e filosofia da ciência no ensino de ciências e biologia. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, v. 2, n. 3, 2008.

FRIZE, M. **Laura Bassi and Science in 18th Century Europe: The Extraordinary Life and Role of Italy's Pioneering Female Professor**. New York: Springer, 2013, p. 50.

FULTON, J. F.; CUSHING, H. M. D. A bibliographical study of the Galvani and the Aldini writings on animal electricity. **Annals of Science**, v. 1, n. 3, p. 239-286, 1956.

GALVANI, L. **Commentary on the effects of electricity on muscular motion**: a translation of Luigi Galvani's *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. Trad. Robert M. Green. Cambridge, MA, Elizabeth Licht, 1953.

GALVANI, L. **Opere edite ed inedite del professore Luigi Galvani**. Raccolte e pubblicate per cura dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Bologna: Dall'Olmo, 1841.

GEORGESCU, L. A new form of knowledge: *Experientia Literata*. **Society and Politic**, v. 5, n. 2, 2011.

HACKING, I. **Representar e Intervir**: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012

HEILBRON, J. L. The contributions of Bologna to Galvanism. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, v. 22, n. 1, p. 57-85, 1991.

HOFF, H. E. Galvani and the pre-Galvanian electrophysiologists. **Annals of Science**, v. 1, n. 2, p. 157-172, 1936.

HOME, R. W. Electricity and the nervous fluid. **Journal of the History of Biology**, v. 3, n. 2, p. 235-251, 1970.

JALOBEANU, D. Disciplining Experience: Francis Bacon's experimental series and the art of experimenting. **Perspectives on Science**, v. 24, n. 3, p. 324-342, 2016.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. e3603, 2018.

JENSEN, G. M. **Lazzaro Spallanzani (1729-1799) e o torpedo: um tipo de peixe elétrico?**. São Paulo: PUC-SP, 2008. 114 p. Dissertação – Mestrado em História da Ciência, Pontifícia

Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2008.

KIPNIS, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. **Annals of Science**, v. 44, p. 107-142, 1987.

KOEHLER, P. J.; FINGER, S.; PICCOLINO, M. The 'Eels' of south America: Mid-18th-century dutch contributions to the theory of animal electricity. **Journal of the History of Biology**, p. 1-49, 2009.

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, R. A. Alessandro Volta e a invenção da pilha. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 823-835, 1999.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da física**. Agosto, 2017, 51p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85-99379-92-9), 2011.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PICCOLINO, M. Marcello Malpighi and the difficult birth of modern life sciences. **Endeavour**, v. 23, n. 4, p. 175-179, 1999.

PICCOLINO, M. Luigi Galvani's path to animal electricity. **C. R. Biologies**, n. 329, p. 303-318, 2006.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. **Shocking Frogs**. New Your: Oxford Press, 2013.

PERA, M. **The ambiguous frog**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1992.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p.253-262, 2002.

PUPILLI, G. C. Introduction. In: GALVANI, L. **Commentary on the effect of electricity on muscular motion**, traduzido por R. M. Green. Massachusetts: Elizabeth Licht, p. ix-xx, 1953.

RAICIK, A.C.; PEDUZZI, L. O. Q. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 1, p. 109-128, 2016.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O.; ANGOTTI, J. A. P. Experimentos exploratórios e experientia literata: (re) pensando a experimentação. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, 2018.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Francis Bacon e a chama apagada na ciência: a experientia literata. In: **Atas do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis, SC, Brasil, 2017a.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Uma análise da ilustração do experimentum crucis de Newton em materiais de divulgação científica. **Física na Escola**, v. 15, n. 2, p. 24-30, 2017b.

REVERÓN, R. R. Marcello Malpighi (1628-1694), Fundador de la Microanatomía. **Int. J. Morphol.**, v. 29, n. 2, p. 399-402, 2011.

ROBERTS, R. M. **Descobertas acidentais em ciências**. Campinas, SP: Papyrus, 1993.

RUSSO, M. Irritabilidade e sensibilidade: fisiologia e filosofia de Albrecht von Haller. In: MARTINS, L. A. C.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H. (Eds.) **Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º encontro**. Campinas: AFHIC, p. 310-319, 2004.

SCHWARTZ, N. A. The search of source domain analogues: on how Luigi Galvani got a satisfactory model of the neuromuscular system. In: MAGNANI, L.; CASADIO, C. (Eds.) **Model-Based Reasoning in Science and Technology**. Springer: 2016, p. 531-540.

SHAPIN, S. **Nunca Pura**: Estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade e autoridade. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

SHAPIN, S. Pump and Circumstance: Robert Boyle's Literary Technology. **Social Studies of Science**, v. 14, n. 4, p. 481-520, 1984.

SILVA, C. C. (Org.) **Estudos de história e filosofia das ciências. Subsídios para aplicação no Ensino**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006.

STEINLE, F. **Exploratory Experiments: Ampère, Faraday, and the origins of Electrodynamics**. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2016

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de

física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRRN, p. 9-40, 2012.

TRUMPLER, M. Verification and variation: Patterns of experimentation in investigations of Galvanism in Germany, 1790-1800. **Philosophy of Science**, v. 64, p. S75-S84, 1997.

TRUMPLER, M. J. **Questioning Nature: Experimental Investigations of Animal Electricity in Germany, 1791-1810**. Yale University, 1992.

Capítulo 7

*Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da
eletricidade animal*

7 GALVANI, VOLTA E OS EXPERIMENTOS CRUCIAIS: A EMBLEMÁTICA CONTROVÉRSIA DA ELETRICIDADE ANIMAL⁷³

Galvani, Volta and the Crucial Experiments: The Emblematic Controversy of Animal Electricity

Resumo

A controvérsia entre Galvani e Volta, acerca da eletricidade animal, pode ser considerada uma das maiores da história da ciência. Ao longo dessa querela, os pressupostos teóricos de cada um dialogaram proficuamente com inúmeros experimentos desenvolvidos. Os experimentos, carregados de teoria, fizeram do sapo o melhor amigo (ou inimigo, por tanto ‘sofrer’) de ambos; satisfazia os desejos de cada um, voltando-se tanto à eletrobiologia quanto a eletrofísica. Resgatando sucintamente este embate, esse artigo discute alguns experimentos desenvolvidos por esses dois estudiosos, que ilustram a concepção steinleana de experimentação exploratória, ressalta alguns aspectos relativos à Natureza da Ciência nesse percurso, discorre em que sentido alguns experimentos podem, em princípio, serem considerados cruciais na controvérsia e evidencia implicações para o ensino de ciências.

Palavras-chave: Galvani; Volta; controvérsia científica; experimento crucial; ensino de ciências.

Abstract

The controversy between Galvani and Volta about animal electricity can be considered one of the greatest in the history of science. Throughout this quarrel, the theoretical presuppositions of each one dialogued proficuamente with numerous experiments developed. The experiments, loaded with theory, made the frog the best friend (or enemy, for suffering too much) of both; satisfying the desires of each, turning to both electrobiology and electrophysics. Briefly rescuing this conflict, this article discusses some experiments developed by these two scholars, which illustrates the Steinle's conception of exploratory experimentation, discusses in what sense some experiments may in principle be considered crucial in the controversy and emphasizes implications for science teaching.

Keywords: Galvani; Volta; scientific controversy; crucial experiment; science teaching.

7.1 INTRODUÇÃO

A publicação de o *De viribus electricitatis in motu musculari* (Comentários sobre o efeito da eletricidade nos movimentos musculares), datado de 1791, mas veiculado no ano seguinte, foi um marco para a ciência no final do século XVIII. Com a admirável teoria⁷⁴ da eletricidade animal, e o apelo experimental que naquele contexto científico era imprescindível, o seu autor, o anatomista de Bolonha Luigi Galvani (1737-1798), apresentava um novo conhecimento. O físico Alessandro Volta (1745-1827), por exemplo, reconheceu a teoria como

⁷³ Submetido à publicação.

⁷⁴ O termo teoria, neste artigo, muitas vezes é utilizado como sinônimo de hipótese.

“uma daquelas grandes e brilhantes descobertas, que merecem ser apreciadas como definidoras de uma era no campo das ciências físicas e médicas” (VOLTA, 1967, p. 371). Essa consideração de Volta, no entanto, foi efêmera e ele trava com Galvani uma das maiores controvérsias da história da ciência.

Como todo novo conhecimento na ciência, a teoria da eletricidade animal abordada no *De viribus* e em outros manuscritos do autor não surgiu e foi aceita acriticamente e passivamente. As divergências entre essa teoria com as concepções de Volta surgem semanas depois deste último ter tido acesso à obra. Na época da divulgação da teoria do anatomista bolonhês, Volta ocupava um cargo de professor de física experimental na Universidade de Pávia. Além de lecionar, centrava esforços na pesquisa em eletricidade fraca, o que o levou a ter, ainda mais, interesse pelo tema. As contrações musculares dos sapos nos experimentos galvânicos manifestavam uma eletricidade tão débil que não era detectada por nenhum eletrômetro até então desenvolvido. Nesse sentido, Volta viu o preparado de sapo de Galvani como um eletrômetro animal extremamente sensível, o que possibilitava e representava ser uma importante ferramenta para os seus interesses elétricos.

O certo é que com a originalidade da sua teoria – em termos de argumentos e legitimidade pautada, sobretudo, no componente empírico – Galvani fez emergir na comunidade científica o brilho, a curiosidade, a desconfiança ao propor e sustentar a existência de uma forma intrínseca de eletricidade envolvida na condução nervosa e na contração muscular. Como ressalta o historiador da ciência Walter Bernardi (2000), antes mesmo do embate com Volta, as primeiras cópias do *De viribus* já provocou uma polêmica entre a teoria galvânica e os adeptos da teoria da irritabilidade de Albrecht von Haller (1708-1777). Giovanni Aldini (1762-1834), assistente e sobrinho de Galvani, foi protagonista de muitos desses debates, atuando não apenas como defensor, mas porta voz de seu tio. A propósito, a reedição de o *De viribus*, transformada em livro, contou com introdução e notas de sua autoria, com o intuito, principalmente, de contra argumentar e explicitar a insuficiência de críticas hallerianas.

Conquanto, a querela Galvani-Volta é fascinante. Nela evidencia-se o respeito e a admiração mútua de seus protagonistas, “mesmo quando suas opiniões começaram a divergir cada vez mais à medida que a controvérsia sobre a eletricidade animal progredia” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 142). O resgate histórico-epistemológico dessa discussão calorosa, contrapõe-se a ideia limitada de uma “uma ciência que se apresenta aproblemática, linear e cumulativa aos olhos do espectador, que mostra apenas os seus produtos, cobrindo com um véu denso e intransponível os processos de sua construção” (PEDUZZI;

RAIČIK, 2019, p. 39). Ela faz emergir o pensamento divergente, torna visível as rupturas teóricas, metodológicas, permite analisar o papel dos experimentos ‘cruciais’ em momentos fervorosos da ciência e, sobretudo, evidenciar a função do componente empírico para escolhas teóricas. Embora muitas vezes de extrema importância, este último não dita, por si, essa escolha.

Ao longo dessa querela, os pressupostos teóricos de cada um dialogaram proficuamente com inúmeros experimentos desenvolvidos. Esses experimentos, longe de visarem apenas a corroboração ou teste de teorias, evidenciam um ‘procedimento explorador’, no sentido apresentado pelo físico e historiador da ciência alemão Friedrich Steinle. As experimentações exploratórias (STEINLE, 2016, 2006, 2002, 1997), embora não prescindam de um corpo teórico mais bem consolidado, são guiadas por pensamentos e objetivos epistêmicos. Por certo, nenhum experimento apresenta neutralidade ou resultados imparciais.

Os pensamentos e objetivos epistêmicos que orientam um experimento não precisam ser teóricos no sentido estrito [...]. Existe uma ampla gama de pensamentos potencialmente-orientadores de ação e de interesses epistêmicos, entre o jogo desprezioso com aparatos, por um lado, e a reflexão propriamente teórica de outro (STEINLE, 2016, p. 313).

Diferentemente de experimentos que são concebidos, projetados, realizados e avaliados à luz de um corpo de conhecimento já definido e estabelecido e, por consequência, apresentam uma rigorosidade experimental que dificulta a possibilidade de resultados não pré-concebidos, as experiências exploratórias têm uma função construtiva essencial; fazem parte da própria construção de conhecimentos. Elas permitem um caminho mais flexível na sempre efervescência busca por descobrir, compreender, entender os enigmas da natureza, do conhecimento... O sapo, na controvérsia, evidencia isso. Volta e Galvani foram trilhando vias distintas a partir de fatores circunstanciais (materiais, objetos, habilidades) além de preferências pessoais que estavam orientando a pesquisa nesse percurso. A pluralidade metodológica e interpretativa permitiu que o sapo satisfizesse os “desejos” de cada um. O conjunto desses fatores, juntamente com “estruturas teóricas e conceituais, dados biográficos, e a pura chance histórica é eminentemente típica da prática experimental e do progresso das ciências experimentais” (STEINLE, 2016, p. 305).

Depois da publicação da obra máxima de Galvani, três momentos marcam profundamente a controvérsia: um experimento (considerado em princípio) ‘crucial’, em prol de Galvani, a reação de Volta a esse experimento e, em seguida, um experimento ‘crucial’ desenvolvido por cada um dos lados. Decerto, há todo um contexto por trás desses momentos, que será contextualizado sucintamente neste artigo. Apesar do apelo dos experimentos em

muitos momentos, e do caráter crucial atribuído a alguns deles, tanto por autores que resgatam e analisam o embate, quanto pelos próprios protagonistas, que viam os experimentos como decisivos, eles não atuam como um árbitro imparcial. Em que sentido, então, pode-se dizer que os experimentos foram cruciais?

Os experimentos são carregados de teoria, nesse caso em específico, uma voltada à eletrobiologia e outra a eletrofísica. As relações entre hipótese e experimentação estão intimamente ligadas ao processo de construção do conhecimento, seja aquele da eletricidade animal, seja o alusivo à eletricidade por contato. Em analogia à concepção introduzida por Francis Bacon (1561-1626) de *instantia crucis*⁷⁵, posteriormente traduzida como ‘experimento crucial’, um experimento pode refutar determinadas explicações ao mesmo tempo em que confirma causas de outra natureza (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017a). Como Bacon (1979) explicitou, os experimentos cruciais não precisam suspender a busca por novas respostas, a incumbência de interpretação.

Nesse sentido, e restringindo-se à controvérsia da eletricidade animal em torno de Galvani e Volta, este artigo visa resgatar certas características desse embate, apreciando criticamente alguns dos experimentos exploratórios desenvolvidos por esses dois estudiosos. No âmbito do ensino de ciências, e à luz da temática da Natureza da Ciência (NdC), discorre-se, entre outras coisas, em que sentido certos experimentos podem (ou não) ser considerados cruciais.

7.2 O ENIGMA DA CONTRAÇÃO MUSCULAR: O ANATOMISTA, O FÍSICO E A RÃ SURPREENDENTE

Em um manuscrito de 1782, Galvani frisa que decidiu realizar experimentos nos nervos de animais com fluído elétrico, singularmente em rãs⁷⁶, com o intuito de “revelar a verdade ou pelo menos contribuir para lançar alguma luz sobre a obscuridade dos fenômenos dos nervos” (PERA, 1992, p. 64). Desde a Antiguidade, estudiosos buscavam explicar e entender o mecanismo responsável pelas contrações musculares (HOME, 1970). Conhecimentos precedentes, além de indispensáveis para o desenvolvimento científico, fundamentam, instigam e abrem caminhos para novas pesquisas e esclarecimentos. Os preparos

⁷⁵ No livro II do *Novum Organum*, Bacon (1979) discorre sobre vinte e sete instâncias prerrogativas que faziam parte de seu método experimental.

⁷⁶ Neste artigo sapos e rãs serão utilizados como sinônimos.

experimentais usuais de Galvani consistiam, essencialmente, em cortar rãs de modo a deixar apenas os seus membros inferiores, esfolados e esvaziados, unidos ao nervo crural. O nervo poderia ficar livre e solto ou ligado à medula espinhal. A primeira fase de suas pesquisas envolve o uso da eletricidade artificial e a verificação da atuação do estímulo: no nervo ou músculo. Conquanto, análises do papel da eletricidade atmosférica, da eletricidade a distância e por contato nas contrações foram igualmente desenvolvidas (RAICIK, 2019; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013; PERA, 1992).

Galvani, e seus assistentes, entre eles sua esposa Lucia Galeazzi (1743-1788), realiza vários experimentos que, embora apresentem autonomia quanto a um corpo teórico bem fundamentado e estabelecido, podem ser sistemáticos e dirigidos, inclusive epistemicamente: objetivam, por vezes, entender, compreender, ‘descobrir’ enigmas da natureza. O anatomista de Bolonha, a partir da preparação usual de rãs, aplica descargas elétricas em sua medula espinhal, nervo crural e músculos; ele usa fios e diferentes objetos metálicos para direcionar o estímulo elétrico. Após uma série de experimentos dialogados proficuamente com distintas hipóteses, com diversas variações experimentais, repetições e, inclusive, o uso de outros animais, Galvani chega à sua teoria da eletricidade animal: “não há dúvida sobre a existência de uma eletricidade animal comum e universal” (GALVANI, 1841; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 131).

A contextualização dos experimentos galvânicos pode contribuir para minimizar o estereótipo de que a experimentação possui um papel limitado na ciência; como fonte (no sentido de gênese) de conhecimento ou corroboradora de teorias. As experimentações desenvolvidas pelo anatomista e seus assistentes ressaltam que, em determinados momentos da história, o jogo dialógico entre constructos teóricos e a investigação empírica possibilita que o ‘cientista’ seja livre para variar, duvidar, analisar resultados esperados e, inclusive e principalmente, desprovidos de expectativas (RAICIK, 2019). Características que apareceram, inclusive, em meio a controvérsia com Volta, onde o componente experimental representa um movimento realmente formidável no difícil jogo que estavam ‘disputando’ (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

Em síntese, no *De viribus* e em algumas de suas Notas anteriores a esta publicação, a partir de um modelo explicativo para o sistema neuromuscular, baseado por analogia à garrafa de Leiden, o anatomista atribui ao músculo a função de acumular eletricidade, de forma que o desequilíbrio elétrico se mantém entre as superfícies interna e externa das fibras musculares. O nervo atua como um condutor de eletricidade que, possuindo uma camada externa isolante

(oleosa), impede sua dispersão. Nesse sentido, a conexão músculo-nervo por meio de um arco metálico permite que o fluido elétrico se movimente do interior do músculo, através do canal interno das fibras nervosas, para o seu exterior, estabelecendo um circuito. Esse mecanismo estabelece uma descarga elétrica que fornece, a princípio, às fibras musculares irritáveis, um estímulo elétrico capaz de provocar contrações. Contudo, Galvani admite que a maneira como as contrações são induzidas continua obscura, uma vez que, para além de uma perspectiva em termos de irritabilidade⁷⁷, elas poderiam resultar da passagem extremamente rápida do fluido elétrico pelas fibras musculares de modo a provocar atrações violentas e peculiares das partículas que as compõem (RAICIK, 2019). Em relação à natureza da eletricidade animal, o anatomista acredita estar no cérebro, assim como os seguidores da concepção de ‘espíritos animais’.

A eletricidade animal mantinha-se, então, como um dos temas mais debatidos e investigados nas últimas décadas do século XVIII. Visando a replicação de suas experiências por seus pares, um meio de legitimação no período em questão, Galvani apresenta uma descrição detalhada de suas preparações animais, dos arranjos desenvolvidos e dos seus resultados. Relatos experimentais que facilitassem a reprodução de experimentos, seja por seus recursos linguísticos, quer pelas imagens apresentadas, eram uma maneira de garantir o depoimento coletivo (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017b).

Em 5 de maio de 1792, Volta publica sua primeira *Memorie sull’electricità animale* (Memória sobre eletricidade animal), em que afirma ter reproduzido experiências galvânicas. Neste estudo, já se percebe que o entusiasmo inicial de Volta começa a ceder lugar para dúvidas que, em parte, distanciava-o da ideia de Galvani. Conquanto, ele mantém a noção de eletricidade animal juntamente com a concepção preambular de eletricidade por contato; concepção que permanece como elemento central na querela que travam (KRAGH, 2000).

As primeiras considerações do físico foram direcionadas à análise de três aspectos: a quantidade, a qualidade e o modo da teoria da eletricidade animal galvânica (PERA, 1992). Decerto, experiências prévias ou correlatas ao interesse em questão, fornecem algumas ideias de onde começar, isto é, evidenciam que parâmetros podem ser mais relevantes e quais não (STEINLE, 2002). No que se refere ao primeiro aspecto, Volta determina a carga mínima necessária para que as contrações ocorressem. A localização dos polos positivos e negativos do

⁷⁷ Para maiores esclarecimentos acerca da teoria da irritabilidade e, conseqüentemente, do contexto inicial que levou Galvani à sua teoria, sugere-se a leitura de Raicik (2019), Pera (1992), Piccolino e Bresadola (2013), Home (1970), Koehler, Finger e Piccolino, 2009.

animal, o que chamou de qualidade da teoria, foi identificada em seguida. Corrigindo a hipótese de Galvani – baseada na analogia com a garrafa de Leiden -, o físico concluiu a partir de experimentos concretos, que o nervo ou a superfície interna do músculo é negativa, enquanto a superfície externa do músculo carrega a eletricidade positiva [fig. 1]⁷⁸.

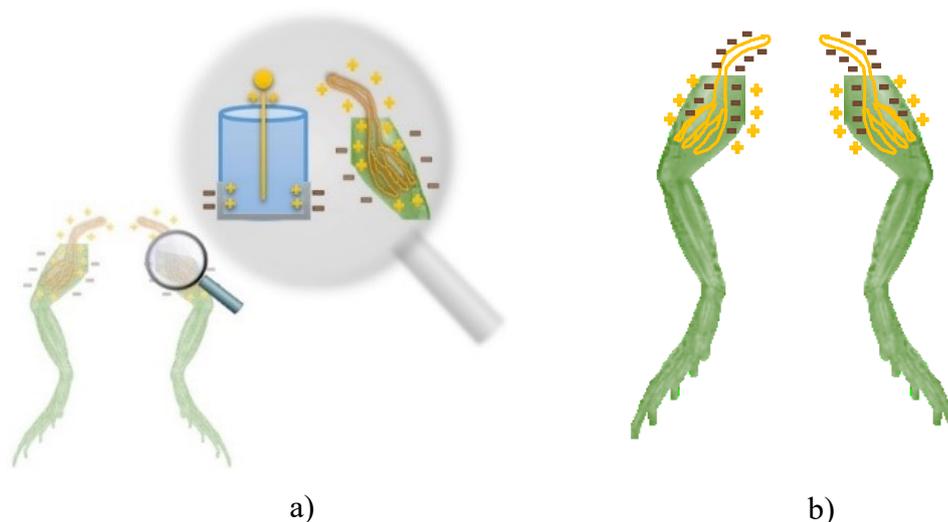


Figura 1 – a) Modelo neuromuscular galvânico: em analogia à garrafa de Leiden, o nervo e a superfície interna do músculo acumulam eletricidade positiva, enquanto a região exterior do músculo detém eletricidade negativa;

b) identificação dos polos positivo e negativo na perspectiva de Volta, a partir de experimentos: nervo ou superfície interna do músculo com eletricidade negativa e face externa do músculo com eletricidade positiva.

Fonte: Autor.

No que se refere ao modo como a eletricidade animal atua, Volta realiza experimentos com animais inteiros e intactos – não aplicando o preparo usual de Galvani em rãs dissecadas. Neste caso, contrações musculares só foram observadas quando “um pedaço de chumbo fino ou tira de estanho” foi aplicado a uma parte do sapo (coluna, costas), enquanto “uma chave, uma moeda [...] de um metal diferente do estanho ou chumbo” era aplicado a outra parte como pernas e coxas ou, ainda, quando “as duas armaduras foram colocadas em contato diretamente [...] ou através de um terceiro metal” no animal (VOLTA, 1967, p. 383). O físico admite que dentro do tecido animal há um fluxo contínuo de eletricidade, e afirma que as contrações ocorriam quando, por algum motivo, perturbava-se “o movimento natural e harmônico do fluido elétrico” (VOLTA, 1967, p. 384). Isto é, o nervo e o músculo eram igualmente dotados de um fluido elétrico que é deslocado pelo contato com o arco metálico, gerando contrações. Nesse

⁷⁸ A ideia aqui é a de excesso de fluido elétrico (positivo) e escassez desse fluido (negativo).

sentido, por acelerar o movimento desse fluido, os metais passam a possuir um papel ativo, tornando-se causa das contrações (PERA, 1992).

O problema da eficácia de diferentes metais nas contrações musculares foi objeto de uma análise mais minuciosa na segunda Memória (*Memorie seconda sull'elettricit à animale*) publicada por Volta em 14 de maio de 1792, seguida de contra-argumentos à teoria da eletricidade animal.

Volta prepara uma rã de forma a isolar seu nervo crural e reveste com tiras de metais (ou grampos) dois de seus pontos, conectando-os a uma garrafa de Leiden [fig. 2]. Nesse momento, constata contrações musculares no animal, sem que o músculo fizesse parte do circuito estabelecido. Ele admite, então, que o movimento do músculo é um efeito secundário da excitação dos nervos, centrando-se nesse último a atuação do fluido elétrico, e não no músculo, como acreditava Galvani. “O músculo obedece ao nervo” (VOLTA, 1967, p. 410), declara o físico de Como.

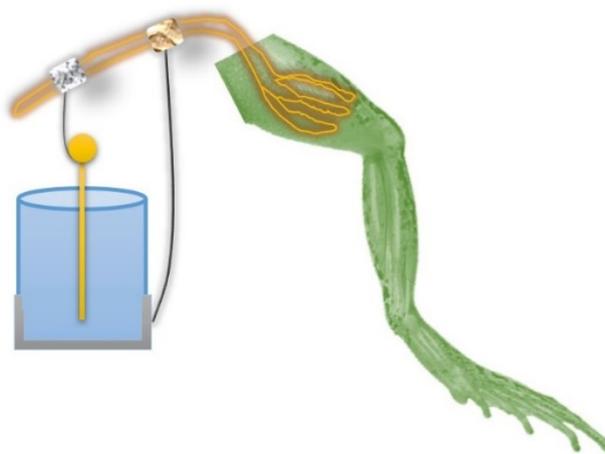


Figura 2 – Com uso de eletricidade artificial, Volta estabelece um circuito apenas com pontos do nervo crural de uma rã, sem estabelecer contato com o músculo, e constata contrações. Fonte: Autor.

Em um experimento derivado do anterior, sem o uso de eletricidade artificial, o físico verifica contração muscular ao conectar os dois revestimentos colocados no nervo por um arco de metal – ou, simplesmente, fazendo com que as armaduras se encostassem [fig. 3]. Neste caso, fica mais evidente, para ele, a necessidade do uso de distintos metais para que ocorra a contração muscular. “Quando a ação é exercida apenas nos nervos, de fato, em um pequeno segmento do tronco do nervo, há uma resposta do movimento dos músculos subordinados aos nervos, mesmo que a corrente elétrica não atinja esses músculos” (VOLTA, 1967, p. 410). Com efeito, e contrariando a analogia de Galvani, Volta afirma que a fibra muscular não deveria ser comparada a uma garrafa de Leiden, pois o desequilíbrio elétrico já existia no nervo. “O

membro [músculo] não foi tocado, e é inconcebível que ele possa ter sido alcançado pelo fluído elétrico que se restringiu, de fato, às duas partes adjacentes do nervo” (p. 410).

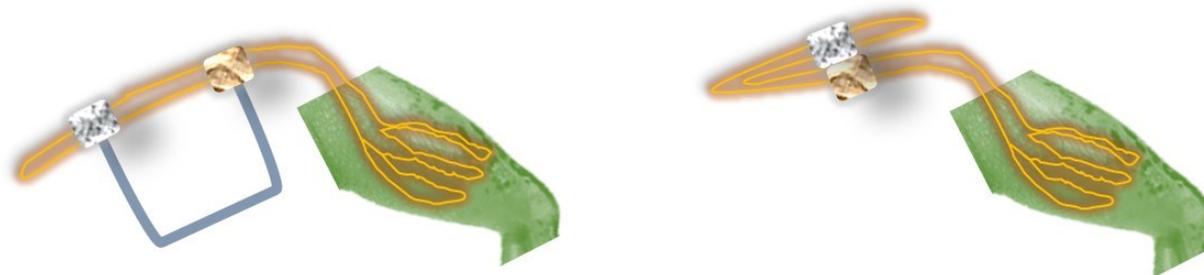


Figura 3- Experimentos desenvolvidos por Volta sem eletricidade artificial que acentua, ainda mais, que o fluído elétrico atua nos nervos, sendo o movimento do músculo um efeito secundário da excitação nervosa. À esquerda, os dois revestimentos aplicados em um segmento do nervo encontram-se unidos por um arco metálico (não necessariamente composto por um terceiro tipo de metal). No segundo caso, à direita, os revestimentos encontram-se, simplesmente, unidos. Em ambos os casos se percebeu contrações musculares. Fonte: Autor.

Paradoxalmente, essas conclusões de Volta podem ser contraditas com experimentos que ele mesmo desenvolveu anteriormente, aqueles em que constata contração muscular em animais inteiros e intactos apenas usando metais dissimilares e aplicando-os na coluna ou costas e nas pernas ou coxas. Acerca desse ponto, e fazendo uso de uma retórica aguçada, ele sustenta que, enquanto demonstra que a eletricidade age no nervo, sem contato algum com músculo, não havia como precisar que, quando uma corrente de fluído elétrico fosse aplicada ao músculo – ou a um segmento do mesmo – os filamentos nervosos espalhados por ele não seriam atingidos.

Além disso, e partindo de um critério meritório – a necessidade de demonstração experimental –, o físico descreve experimentos de extrema significância na sua crítica subsequente à eletricidade animal. Inicialmente, ele aplica dois revestimentos de metal em sua língua, uma moeda de ouro ou prata e uma lâmina (ou colher) de estanho, zinco ou chumbo e, ao estabelecer contato entre eles, sente apenas sabor ácido; sem contração ou movimento da mesma [fig. 4]. A partir dessa constatação, ele nutre, ainda mais, sua concepção de que não são as fibras musculares, mas as papilas nervosas da língua, nesse caso, que são imediatamente afetadas pelo fluído elétrico (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). “Embora nenhum experimento pudesse provar que o fluído elétrico atuava diretamente nos músculos, havia experiências diretas [como essa] provando o contrário” (PERA, 1992, p. 107)

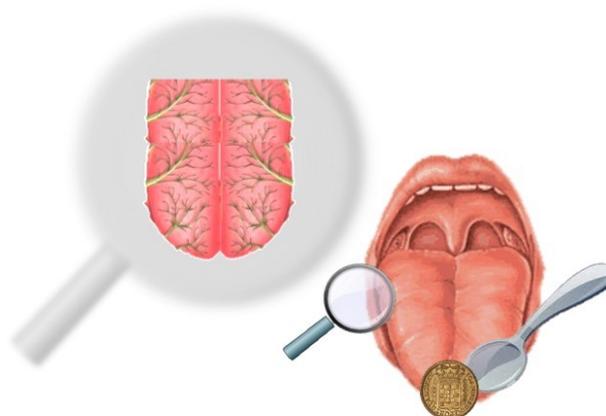


Figura 4 – Experimento de Volta em que estabelece contato entre dois metais e sua língua e, por consequência, sente um sabor ácido. Em síntese, ele atribui o resultado à ação do fluido elétrico imediatamente ao nervo, sendo sua ação no músculo um efeito (na melhor das hipóteses) apenas secundário. Fonte: Autor.

Essas experiências, no entanto, não possibilitavam a Volta explicar como o fluido poderia se mover entre dois pontos do nervo simplesmente revestindo-os com armaduras metálicas e conectando-as. O que se poderia assinalar é que, nesses casos específicos, o fluido elétrico se manifesta pela dissimilaridade das armaduras, logo um efeito causado pelos metais.

Se, pelo menos em certos casos, armaduras diferentes não são apenas úteis, mas necessárias para obter contrações (o sinal seguro do fluxo de fluido elétrico), então não se pode dizer que esse fluxo de fluido é causado por um desequilíbrio natural existente no animal, pois isso também seria revelado por um arco de um único metal. Em vez disso, o fluxo deve ser causado, de uma maneira ainda a ser descoberta, por um desequilíbrio artificial criado pelas armaduras (PERA, 1992, p. 109).

Isto é, Volta estava convencido de que o uso de distintos metais era imprescindível para obter contrações em alguns casos, independente do arranjo experimental ou do ponto de aplicação.

Em suas duas primeiras Memórias, Volta lança dúvida à explicação de Galvani acerca das contrações musculares a partir da analogia com a garrafa de Leiden. Em poucas semanas ele desenvolve hipóteses consistentes, de seu ponto de vista, que não lhe permitem mais admitir os experimentos de Galvani sem considerar inconsistências, de ordem metodológica e teórica. Atribuir ao metal a capacidade de produzir ou promover o desequilíbrio elétrico significava reconhecer um novo conceito na física até então nunca imaginado. Portanto, nas entrelinhas de sua construção teórica inicial, ele ainda admitia a coexistência das duas possibilidades para explicar a contração muscular. Não obstante, isso tende a se extinguir e o físico passa a descartar a explicação galvânica sobre o movimento muscular. Como frisa Steinle, a tentativa de formular regularidades empíricas requer, por vezes, a formação de novos conceitos e categorias em uma área da ciência. “É no reino da formação conceitual que a experimentação exploratória tem seu

poder e importância mais singulares” (STEINLE, 2002, p. 419). Na medida em que tais conceitos codificam novos *insights* empíricos, os experimentos exploratórios têm uma relevante função epistêmica, não previamente reconhecida (FEEST; STEINLE, 2012).

7.2.1 Volta e os metais: a teoria especial da eletricidade por contato

Em junho de 1792, Volta escreve um documento de forma anônima ao *Opuscoli Scelti sulle Scienze e sulle Arti* – periódico italiano voltado à divulgação científica, na época editado por Carlo Amoretti (1741-1816) (JENSEN; PRESTES, 2008). Nessa publicação ele afirma que “os metais não devem ser considerados como meros condutores, mas como verdadeiros motores da eletricidade” (VOLTA, 1792a, p. 215). Ele continua:

Finalmente, tendo avançado o *Senhor Volta* [se auto mencionando] na investigação não apenas das propriedades físicas, mas químicas desse mesmo fluido, como já descobriu uma nova, e de fato notável [propriedade], que é o sabor, quem sabe isso não nos leva a conhecer a verdadeira natureza e constituição [desse fluido elétrico]? (VOLTA, 1792a, p. 215).

No mesmo ano, em carta a Tommaselli e devidamente assinada, ele enfatiza novamente que “metais são, portanto, não apenas condutores perfeitos, mas motores de eletricidade [...] Esta é uma nova virtude de metais, que ninguém ainda suspeitou, e que fui levado a descobrir por meus experimentos” (VOLTA, 1792b, p. 117). Em continuação, Volta destaca que os metais, não apenas facilitam a passagem do fluido elétrico, como eles mesmos “produzem e promovem um desequilíbrio na extração ou introdução desse fluido” (p. 117).

Enquanto Galvani admite que o metal (ou arco bimetálico⁷⁹) tem apenas a função passiva de levar a eletricidade através das fibras nervosas que, de fato, atuam como condutores do fluido elétrico contido no desequilíbrio entre as superfícies externa e interna das fibras musculares, Volta atribui uma função ativa ao metal.

Volta colocou a teoria eletrobiológica de Galvani sob uma perspectiva eletrofísica, ao fazer das contrações musculares um caso especial de desequilíbrio de fluido elétrico em condutores. Ainda assim, ele precisava lidar com inconsistências empíricas, como aquelas em que há contrações quando do uso de apenas metais do mesmo tipo, como em alguns experimentos de Galvani. Em princípio, o físico buscou limitar esses experimentos como casos particulares, mas isso foi temporário. Ele utilizou, fundamentalmente, uma hipótese *ad hoc* para

⁷⁹ Galvani observou, durante alguns de seus experimentos, a necessidade de utilizar distintos metais. Não obstante, ele negou um papel ativo e relevante aos diferentes metais; a bimetalidade era apenas um melhor estímulo ao fluxo do fluido elétrico (RAICIK, 2019).

salvar sua teoria: os metais poderiam diferir de outra forma, em sua dureza, suavidade, etc., e portanto apresentarem heterogeneidade. Deveras, o apelo a uma hipótese para este propósito, “ilustra a convicção do cientista à teoria, a sua relutância em abandoná-la pura e simplesmente se, em princípio, há (boas) razões para continuar acreditando em sua validade” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 32).

Em sua terceira Memória (*Memorie terza sull'elettricit à animale*), endereçada em forma de carta para Aldini em 24 de novembro de 1792, Volta torna cada vez mais sistemática a sua conjectura. “A teoria e as explicações de Galvani”, diz ele, “que você se esforça para apoiar, desmoronam largamente, e todo o edifício ameaça arruinar-se” (VOLTA, 1967, p. 424). A física estava ganhando um novo conceito que abriria portas a luzes ainda não vistas (PICCOLINO, 1998).

Não obstante, Volta não havia demonstrado que sinais elétricos poderiam ser produzidos unindo metais sem corpos de animais. Do mesmo modo, Galvani não tinha verificado contrações ligando partes do animal sem o uso de corpos metálicos. No ano de 1793, apesar de a situação entre as teorias divergentes ficar paralisada, é publicada em janeiro, na *Philosophical Transactions*, uma carta que Volta havia encaminhado ao físico e membro da Royal Society Tiberius Cavallo (1749-1809). Neste documento, entre realçar que o *De viribus* contém “uma das mais belas e surpreendentes descobertas e o embrião de várias outras” (VOLTA, 1793, p. 10), ele enfatiza, rejeitando a teoria da eletricidade animal, que “gostava de pensar como o Sr. Galvani [...] mas repito, tive que renunciar [...] a todas essas belas ideias, pelas quais nos pareceu possível explicar as coisas maravilhosamente” (VOLTA, 1793, p. 36).

Como nuvens carregadas que se formam mesmo em um dia de Sol, a calma cederia lugar a momentos tempestuosos, embora sempre respeitáveis, entre eles. Os dois mantiveram uma cordialidade elegante, elogiando-se e em geral reconhecendo a relevância e meticulosidade no trabalho um do outro.

Havia mais neste papel teatral do que o orgulho dos cientistas, a teimosia de personalidades fortes, ou a defesa subjetiva dos protagonistas – e o compromisso – com as suas próprias explicações. Em vez disso, em seu confronto inicial, as duas teorias não eram objetivamente mais do que hipóteses plausíveis, cada uma dotada de suporte empírico e âncoras teóricas críveis, mas cada uma com suas próprias dificuldades. Na verdade, o antigo dilema de Galvani - eletricidade animal ou eletricidade metálica - embora reforçada por novos dados, ainda aguardava a prova decisiva que traria sua solução. Infelizmente, o destino considerou adequado distribuir essa prova de maneira equitativa entre os dois campos. Como resultado, cada um tem sua própria experiência crucial (PERA, 1992, p. 116).

Os manifestos às concepções apresentadas por Volta, referentes a teoria da eletricidade por contato, surgem no ano de 1794 com experimentos desenvolvidos por Aldini,

Eusebio Valli (1755-1816) e Galvani. Aldini mostrou que contrações poderiam ser obtidas com metais homogêneos e para isso desenvolveu experimentos com arco de mercúrio. Fazendo uso de sua hipótese *ad hoc* supracitada, Volta minimiza a relevância dessa constatação. Valli, por sua vez, antecipa a essência de um experimento produzido independentemente por Galvani, no mesmo ano, em que estabelece comunicação entre nervo e músculo sem condutores metálicos, usando somente seu próprio corpo. Os metais, ele afirma, “não possuem nenhuma virtude mágica secreta” (PERA, 1992, p. 123).

7.3 GALVANI E O TRATADO DO ARCO CONDUTOR: O ANÔNIMO CRÍTICO DE VOLTA

O livro *Dell'uso e dell'attivit à dell'arco conduttore nelle contrazioni dei muscoli* (Do uso e atividade do Arco Condutor nas contrações musculares), organizado na forma de um Tratado e publicado anonimamente em abril de 1794, traz algumas críticas à Volta, dentre elas o “terceiro experimento”⁸⁰ galvânico. Galvani, o seu autor, preferiu o anonimato possivelmente para refletir a contribuição de seus assistentes, sobretudo a de seu sobrinho Aldini⁸¹ (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Nessa obra, ele apresenta uma estrutura expositiva cujo tema central é, como indica o seu título, o arco condutor; uma expressão usada de forma ampla que diz respeito tanto ao arco de metal propriamente dito, quanto ao circuito que compreendia máquinas eletrostáticas (ou dispositivos) e a própria preparação do animal. Envolvida em uma perspectiva empírica não dissociada do diálogo com pressupostos teóricos explícitos, a sua tese elementar é que a eletricidade, normalmente, age em um corpo quando faz parte de um circuito (ou arco, artificial ou não) de materiais condutores dos quais o fluído elétrico flui sob a forma de “atual” ou “torrente”. Esses termos, assim como o de “transfluxo”, também foram utilizados por Volta para descrever o circuito entre dois metais (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

No prefácio do Tratado, ele enfatiza que se debruça em apresentar vários tipos de arcos que podem ser formados (arcos simples, homogêneo de uma ou mais peças, arcos compostos,

⁸⁰ Há, na literatura, a especificação de três importantes, famosos e impactantes experimentos desenvolvidos por Galvani em seus estudos da eletricidade animal, conhecidos como o primeiro, segundo e terceiro experimentos (HOFF, 1936; DIBNER, 1971; PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Os dois primeiros foram descritos no *De viribus* (1791); o terceiro, apresentado no Tratado de 1794, é considerado e chamado por muitos autores como um experimento crucial (PERA, 1992; PICCOLINO, BRESADOLA, 2013, MAURO, 1969, VERKHRASSTSKY, KRISHTAL, PETERSON, 2006, PARENT, 2004). Pera (1992), ainda denomina de o “quarto experimento”, um experimento variante do terceiro e desenvolvido em 1797.

⁸¹ Historiadores também atribuem ao anonimato a relutância de Galvani em participar diretamente da polêmica gerada pela sua principal obra, o *De viribus*, e ao seu provável desejo de aumentar a credibilidade de suas críticas a partir de um ponto de vista “impessoal” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

dissimilares de uma ou mais peças) e, em seguida, as atividades que exercem no processo de contração. Partindo da suposta necessidade e atividade do arco condutor, ele investiga as consequências que podem ser tiradas com seu uso:

Examinando de forma imparcial se realmente levam a reconhecer, como autor das contrações excitadas, uma real eletricidade, ou não; e [...] se é preciso acreditar que esta eletricidade é extrínseca ao animal e comum, ou mesmo intrínseca e toda sua; e se eu a reconhecer devido ao animal, então passarei da atividade e necessidade do arco artificial para a busca do arco natural [...]. Ao fazê-lo, não me abandonarei à mera força do raciocínio e apenas conjecturas, mas também vou usar a confiança de experimentos (GALVANI, 1841, p. 156).

O apelo à imparcialidade nada mais representa que uma retórica perspicaz. Galvani estava imbuído da ideia de eletricidade animal há mais de uma década e, de acordo com o percurso da controvérsia com Volta, a sagacidade nesse caso estava em refutar a noção de agente ativo dos arcos metálicos e buscar ainda mais evidências empíricas favoráveis à eletricidade animal, e não na possibilidade de verificar, como causa das contrações, uma eletricidade extrínseca. As experimentações, com efeito, estão imbricadas em pressupostos teóricos e subordinadas a interrogatórios – nada isentos – de respostas não definitivas, às vezes não previstas e tantas outras surpreendentes (PRAIA; CACHAPUZ; GIL PÉREZ, 2002).

O anatomista evidencia que se um mesmo tipo de arco pode produzir contrações em um animal e não em outro, isso depende da ‘força muscular natural’ do animal, e não pura e simplesmente das características do arco. Ele apresenta três graus da ‘força animal’ – máxima, média e mínima (GALVANI, 1841, p. 159-160): a) para o grau máximo, isto é, o primeiro, ele reconhece que para excitar a contração dos músculos o uso de um arco homogêneo e de uma única peça é suficiente; b) para o segundo grau, nomeadamente médio, “aquele em um [arco] homogêneo não é suficiente, convém usar um arco heterogêneo e mais peças”; c) o grau mínimo é aquele em que nem mesmo um arco heterogêneo é suficiente para provocar contrações, “às vezes é, às vezes não”, e portanto, deve ser evitado, pois uma falsa e precipitada percepção da eficácia dos arcos utilizados poderia ser erroneamente concluída. Nem todo animal apresentará os diferentes estados da ‘força animal’ e, conforme ele frisa, não há um tempo específico para a sua duração: “tudo depende da robustez natural e da energia do animal antes da sua preparação” (GALVANI, 1841, p. 160). Com efeito, a estabilidade, mais do que a generalidade, é um requisito essencial para variações experimentais bem-sucedidas (STEINLE, 2002).

É nesse sentido que Galvani é enfático ao desaprovar aqueles que ignoravam a preparação usual de rãs nos experimentos; uma clara menção a forma como Volta, por vezes, desenvolvia experimentos com sapos vivos e intactos. “Reside aqui”, pondera o anatomista, “a

fonte do resultado variado dos experimentos, da discórdia e das várias opiniões dos experimentadores” (GALVANI, 1841, p. 161). No âmbito de uma experimentação exploratória, entretanto, restrições demasiadas podem inviabilizar uma ampla gama de resultados experimentais. A flexibilidade abre espaço para, além de otimização, variação experimental que pode, inclusive, apresentar efeitos inesperados (STEINLE, 2016). Além disso, vê-se uma nítida crítica ao argumento de Volta acerca dos arcos bimetálicos, isto é, a partir de diversos experimentos e a ‘força variável’ do animal, Galvani consegue sustentar com mais propriedade o que já defendia no *De viribus*: arcos bimetálicos apenas potencializam o fenômeno das contrações.

No Tratado, Galvani reformula a sua hipótese original de “garrafa de Leiden animal”, como se verá a seguir.

7.3.1 O “terceiro experimento” de Galvani e seu apelo crucial

O chamado “terceiro experimento” galvânico por historiadores e pesquisadores é particularmente relevante no âmbito da controvérsia com Volta. O experimento consistia em colocar o nervo crural, de uma rã devidamente preparada, em contato com a superfície de sua perna, por meio de um material isolante, sem nenhum tipo de corpo extrínseco condutor e, a partir disso, obter contrações [fig. 5]. Como Galvani afirma: este experimento “é **decisivo** [...], na minha opinião” (GALVANI, 1841, p. 212, grifo nosso).

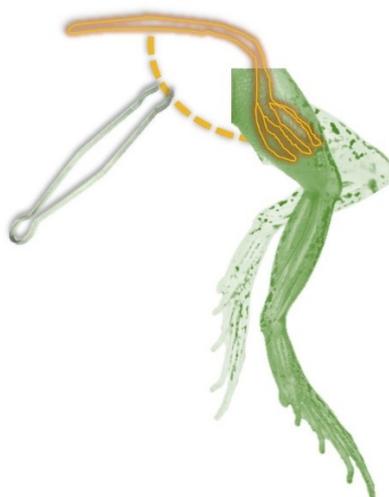


Figura 5 - O “terceiro experimento” de Galvani: contrações obtidas pelo contato direto entre nervo e músculo, apenas com a utilização de um corpo isolante. Fonte: Autor; adaptada de Pera (1992).

A experiência parecia, em princípio, conclusiva e inquestionável (PICCOLINO, 1998). Galvani a descreveu como um experimento definitivo, que “provava definitivamente a existência de uma eletricidade animal” (HOFF, 1936, p. 159). Bernardi (2000) sobreleva a sua importância, ao mencionar estudiosos que no início aceitaram a teoria da eletricidade animal, passaram a ficar adeptos de Volta, mas voltaram a seguir ideais galvânicos depois do “terceiro experimento”. Mauro (1969, p. 144) afirma, inclusive, que esta parecia “a única experiência lógica, naquele momento, que poderia contrariar o argumento” de seu adversário. Por certo, Galvani havia conseguido causar “um forte golpe na teoria de Volta, descrevendo contrações consistindo apenas de nervo e músculo” (KIPNIS, 1987, p. 120-121). Não obstante, Volta se recusou a ver no experimento uma evidência definitiva, inquestionável, de uma eletricidade intrínseca. A ideia de que somente a evidência empírica é suficiente e permite uma tomada de decisão acaba negligenciando outros aspectos (valores) que influenciam forte e igualmente os estudiosos na escolha teórica.

O certo é que Galvani conseguiu provocar contrações em um animal, devidamente preparado, sem o uso de arco externo ou metal. Isto é, o experimento evidenciava que o desequilíbrio elétrico era “naturalmente encontrado no animal” (GALVANI, 1841, p. 205). “Era necessário”, frisa o anatomista, “reconhecer nele uma máquina particular, capaz de produzir e manter naturalmente tal desequilíbrio” (GALVANI, 1841, p. 205). Novamente fazendo analogia à garrafa de Leiden, mas agora modificando o seu modelo apresentado no *De viribus*, ele admitiu que essa máquina animal (pequena máquina ou *macchinetta*), comportava:

[...] a ideia de que existia no animal uma circulação contínua do fluido elétrico, ‘uma torrente contínua’ que fluía do interior do músculo através das fibras nervosas – definida por Galvani como ‘arco interno’ – e então saía dos nervos para alcançar a parte externa do músculo através dos tecidos úmidos e dos “invólucros” ou “membranas” que circundavam o nervo e o músculo (o chamado arco externo natural) (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 168).

Nesse novo modelo, a garrafa propriamente dita representa o músculo, ao passo que o nervo é representado pelo condutor que comunica as partes interna e externa do músculo. A camada isolante que reveste o condutor, de cera por exemplo, era perfurada – em semelhança ao nervo: uma substância sólida, com partes oleosas misturadas com partes condutoras – de modo a que esses pequenos buracos permitissem a entrada moderada de água ou outro fluido nesses orifícios e viabilizasse contato direto com o condutor. Nesse sentido, as contrações ocorriam quando a torrente elétrica era alterada de forma que aumentasse sua “velocidade e força”, em condições fisiológicas ou experimentais; neste segundo caso, isso poderia ser obtido com a aplicação de um arco condutor artificial.

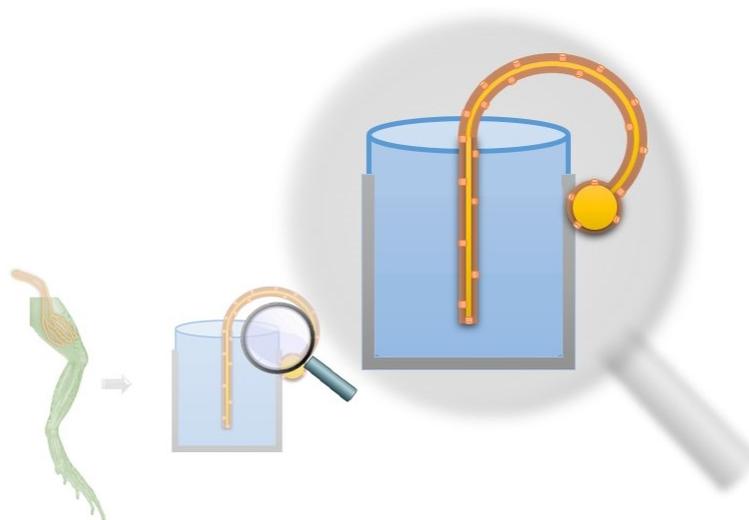


Figura 6 – Representação da ‘pequena máquina’ de Galvani. No esquema, por analogia, a garrafa simboliza o músculo, enquanto a haste condutora (amarela) revestida de uma camada isolante perfurada (marrom) representa o nervo. Fonte: Autor.

Apesar da relevância de seu novo modelo, a *macchinetta* não atraiu muito a atenção dos estudiosos, sobretudo porque muitos deles, inclusive galvanistas, não liam italiano e permaneceram com a versão apresentada em sua obra máxima – *De viribus* –, publicada em latim (TRUMPLER, 1992). Além disso, havia a possibilidade de explicar seu funcionamento em termos de uma eletricidade intrínseca animal, como também de uma eletricidade comum que poderia fluir em qualquer outro corpo (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

Entretanto, com seu protótipo apresentado no Tratado, Galvani centra esforços para explicar a eficiência de distintos metais nas contrações musculares; ponto fulcral em sua controvérsia com Volta. Para o anatomista, a heterogeneidade aumentava o fluxo elétrico animal e, por certo, ainda mais a ‘força’ e a facilidade das contrações, ao alterar a torrente elétrica. A despeito disso, o seu ‘terceiro experimento’ evidenciava que o uso de metais, especialmente dissimilares, embora facilitasse a produção de contrações, não era condição necessária para que elas ocorressem. Ademais, ele apresenta a noção de ‘arco oculto’, uma hipótese *ad hoc* que lhe permitia explicar alguns experimentos de Volta com a aplicação de um arco em dois pontos de um mesmo nervo [fig. 3]. Havia uma comunicação entre músculo e nervo por meio de uma umidade procedente dos tecidos animais, ainda que não fosse visível. “A umidade adequada e íntima do animal” constituía a parte ‘oculta’ do arco.

Ainda no âmbito do Tratado, Galvani faz “algumas reflexões sobre os experimentos de Volta envolvendo sensações” (GALVANI, 1841, p. 235), especificamente aquele em que o físico sente um sabor ácido ao estabelecer contato entre dois metais e sua língua. Essas reflexões, no entanto, aparecem como críticas severas. Apesar de Volta apresentar uma

demonstração experimental [fig. 4], realizada inclusive em si mesmo, a hipótese de que o fluido elétrico se manifestava pela dissimilaridade das armaduras, a partir da sensação sentida, não era “suficientemente segura e firme”, afirma o anatomista. “Nada é mais traiçoeiro e mais inconstante”, continua ele, “do que a sensação de gosto” (p. 235).

O certo é que Volta logo esboça, empírica e teoricamente, uma reação às novas constatações de Galvani.

7.4 REAÇÃO DE VOLTA: A TEORIA GERAL DA ELETRICIDADE POR CONTATO

O “terceiro experimento” de Galvani, por certo, havia evidenciado que contrações poderiam ser produzidas sem o uso de metais. A teoria especial da eletricidade por contato de Volta havia sido refutada. Mesmo sua hipótese *ad hoc* atribuída anteriormente – de que metais poderiam diferir, em sua dureza, suavidade, etc. – não o ‘salvaria’ agora. Com efeito e não raramente, os estudiosos não renunciam facilmente às suas crenças. Como afirma Karl Popper (1902-1994) (1979, p. 68): “se nos sujeitarmos à crítica com demasiada facilidade nunca descobriremos onde está a verdadeira força das nossas teorias”. É com esse espírito, e suficientemente convicto de que não poderia haver uma eletricidade animal, que o físico sustenta cada vez mais sua teoria da eletricidade por contato.

Em agosto de 1794, Volta escreve uma carta a Antonio Maria Vassali (1761-1825) apresentando dois pontos centrais: o desenvolvimento de sua teoria do poder eletromotriz dos metais e críticas e objeções aos novos experimentos apresentados por Galvani. Em relação a este último ponto, o físico afirma que os resultados do anatomista se devem a “uma irritação mecânica [...] o que torna tudo inconclusivo” (VOLTA, 1967, p. 450). Retomando sua teoria da eletricidade por contato, ele dividiu corpos condutores em duas classes distintas: os de primeira classe, a qual chama de condutores metálicos e os de segunda, que designa de condutores úmidos. “Os condutores de primeira classe”, diz ele em carta a Vassali agora em 1795, “têm um poder eletromotriz gerado pelo contato com condutores de segunda classe” (VOLTA, 1967, p. 454).

Essa concepção abrange, portanto, três hipóteses para o poder eletromotriz dos metais [fig. 7]: i) um metal cede fluido elétrico a um corpo úmido que, por sua vez, oferece fluido elétrico a outro metal distinto; ii) dois metais recebem fluido elétrico, em distintos níveis, de um corpo úmido; iii) dois metais comunicam fluido a um corpo úmido.

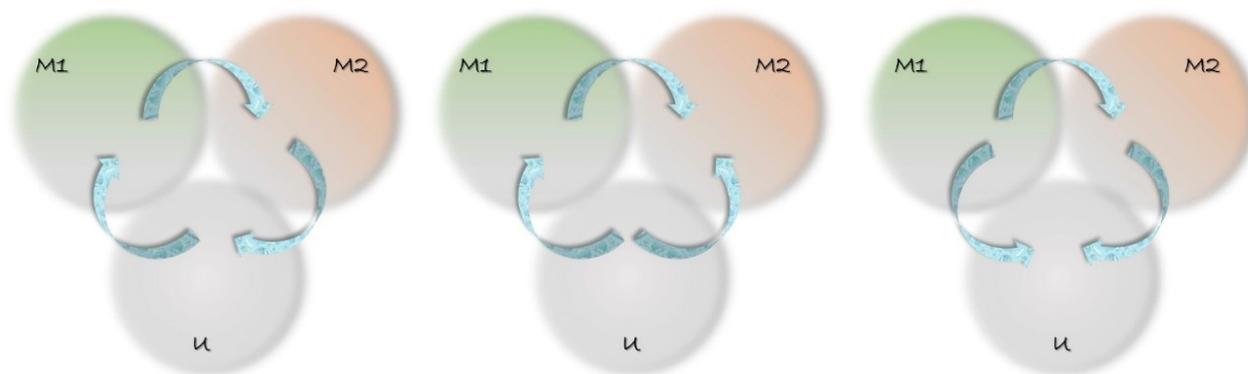


Figura 7 – Hipóteses de Volta acerca do poder eletromotriz: No primeiro caso um metal M2 cede fluido elétrico ao corpo úmido u que, por sua vez, oferece fluido elétrico ao metal M1; Na segunda situação os metais M1 e M2 recebem fluido elétrico, em distintos níveis, do corpo úmido u; Na terceira possibilidade ambos os metais, M1 e M2, comunicam fluido ao corpo úmido u em diferentes graus. Imagem adaptada de Pera (1992).

Os metais têm um poder eletromotriz que reside no contato entre dois metais dissimilares e um corpo úmido. Cabe ressaltar que essas ideias foram sendo modificadas, aperfeiçoadas e reiteradas em diversas cartas, como Volta afirma: “Eu tinha essas ideias desde o começo e as expliquei a alguns amigos e correspondentes, incluindo o Sr. Abade Tommaselli, de Verona, e o Dr. Van Marum, famoso físico holandês, em algumas cartas escritas no verão de 1792” (VOLTA, 1967, p. 465).

O terceiro experimento de Galvani, no entanto, fez Volta estender sua concepção. “Eu fui mais longe, como podemos ver, das ideias que tive por um longo tempo [...] Atribuí um pouco dessa excitação à virtude dos condutores não-metálicos” (VOLTA, 1967, p. 467). Ele generaliza o seu princípio:

[...] a qualquer momento que dois condutores diferentes estão conectados, surge uma ação que empurra mais ou menos o fluido elétrico; de tal forma que, na medida em que o circuito esteja fechado [por um terceiro condutor] entre eles, seja o que for [de primeira ou de segunda classe], com a condição de que eles sejam diferentes entre si, alguma corrente resulta constantemente animada, seja modesta, seja fraca ou muito fraca. (VOLTA, 1967, p.469-470).

Em outras palavras, ele propôs que diferentes condutores, não apenas metais, mas particularmente corpos úmidos de diferentes composições poderiam gerar uma ‘força elétrica’ quando postos em contato (PICCOLINO, 1998). Isso explicaria as contrações produzidas ao se utilizar metais dissimilares em contato com a rã, como também poderia justificar o ‘terceiro experimento’ de Galvani em que dois condutores úmidos (o nervo e o músculo) foram colocados em contato por meio de um corpo mediador – os fluidos do animal (sangue, saliva, etc.). Apesar de os condutores de primeira classe serem ‘motores’ mais eficientes, os de segunda classe, ou úmidos, eram igualmente capazes de impulsionar eletricidade. O processo de revisar,

formar, estabilizar categorias e/ou conceitos é fundamental e característico de experimentações exploratórias. “Qualquer novo conceito tem que permitir a formulação de regularidades cada vez mais estáveis e gerais” (STEINLE, 2002, p. 421).

De qualquer forma, pode-se dizer que a teoria geral da eletricidade por contato ainda era uma hipótese *ad hoc*, uma vez que ela ‘salvava’ os fenômenos observados. Nesse sentido, “os dois concorrentes poderiam esperar conquistar a vantagem por meio de experiências cruciais. Galvani já havia produzido uma, mas Volta ainda não. Nessas circunstâncias, ele poderia, na melhor das hipóteses, lançar dúvidas sobre a teoria rival, mas não provar a sua (PERA, 1992, p. 139). Volta, no entanto, foi atrás de uma evidência “decisiva”.

7.4.1 Nova teoria geral da eletricidade por contato: o apelo crucial do experimento de Volta

Em uma carta encaminhada a Francesco Mocchetti (1766-1839), ainda em 1795, Volta elucida novamente sua crítica ao ‘terceiro experimento’ galvânico:

O ruído, que os partidários da eletricidade animal no sentido de Galvani trouxeram com as experiências que muitas vezes excitam convulsões, também fortes, em sapo fresco preparado sem a intervenção de qualquer metal [...]. Este grande barulho que você viu, meu querido amigo, para onde foi: como esses experimentos, com os quais os galvanistas acreditavam triunfar [...], não apenas nada provam a favor da suposta carga, ou desequilíbrio de fluido elétrico nos nervos e músculos do animal preparado; mas sim confirmam [...] o que eu rapidamente indiquei em minha carta anterior dirigida a você [...]: a saber, que o acoplamento de condutores diferentes é a causa real, que perturba o equilíbrio do fluido elétrico, o remove do repouso e o coloca em corrente contínua [...] (VOLTA, 1795, p. 5-6).

Ainda nesse ano, Volta encaminha outra carta a Vassali relatando a continuidade de seus estudos, sobretudo com testes sistemáticos de circuitos formados por três ou mais condutores distintos, a fim de procurar combinações mais poderosas de “eletromotores” (HEILBRON, 2007). Além disso, ele desenvolve escalas de condutores de segunda classe, uma vez que já havia feito para os de primeira classe anos antes. No ano seguinte, 1796, na primeira carta a Carl Friedrich Gren (1760-1798) ele sintetiza que há três formas de incitar o fluido elétrico de modo a provocar contrações e sensações sempre com, pelo menos, três condutores diferentes: i) dois metais, ou condutores de primeira classe, em contato com um condutor de segunda classe; ii) um metal, ou condutor de primeira classe, em contato com dois condutores úmidos diferentes; iii) três condutores úmidos distintos (VOLTA, 1967).

Em segunda carta a Gren, Volta retoma as hipóteses desenvolvidas anteriormente do poder eletromotriz [fig.7]. “Alguns fatos novos que descobri [...] convenceram-me”, diz o físico, de que:

Do contato mútuo entre prata e estanho, por exemplo, nasce uma força, um esforço, pelo qual o primeiro oferece fluido elétrico e o segundo recebe: a prata tende a soltá-lo e liberá-lo para o estanho. Essa força ou esforço produz uma corrente, se o circuito também contiver condutores úmidos, um fluxo contínuo do fluido, que circula na direção indicada acima da prata para o estanho e do estanho retorna para a prata, por meio do condutor úmido, e depois volta para o estanho, etc. Se o circuito não estiver completo, se os metais estiverem isolados, tem-se um acúmulo do fluido elétrico no estanho à custa da prata; isto é, eletricidade positiva, ou mais eletricidade, no primeiro e uma eletricidade negativa, ou menos no segundo (VOLTA, 1967, p. 484).

Nesse sentido, Volta estabelece uma hipótese definitiva para explicar o poder eletromotriz dos metais: um metal emite fluido elétrico, o outro recebe e o condutor úmido restaura o equilíbrio [fig. 8].

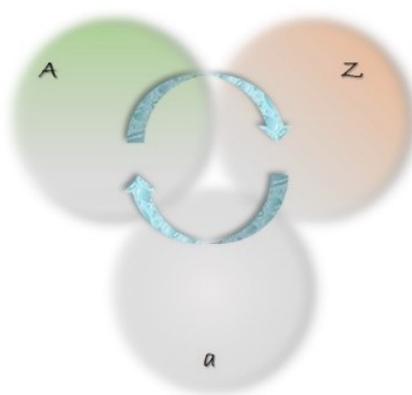


Figura 8- Hipótese final de Volta do poder eletromotriz dos metais. A e Z são condutores de primeira classe, metais, enquanto a representa um condutor de segunda classe, úmido. Imagem adaptada de Pera (1992).

Em continuidade, Volta admite que “a eletricidade é fraca e abaixo do grau necessário para mover eletrômetros comuns” (VOLTA, 1967, p. 484). Não obstante, isso já representava mais do que ele poderia ensejar, “consegui torná-la mais sensível do que esperava e até consegui faíscas, com a ajuda do meu capacitor elétrico, e melhor com o duplicador [...] de [William] Nicholson⁸² baseado nos mesmos princípios que o [meu] condensador (VOLTA, 1967, p. 484-485). No ano de 1797, em terceira carta a Gren, o físico afirma que apresentará um “experimento tão mais simples quanto claro e decisivo” (VOLTA, 1967, p. 498) utilizando, nesse caso, seu próprio eletrômetro condensador. “A minúscula eletricidade gerada do contanto

⁸² Willian Nicholson (1753-1815), em 1788, aperfeiçoou o dobrador (duplicador) de Abraham Bennet (1750-1799). “O dobrador de Bennet consiste de três placas condutoras isoladas entre si, que através de movimentos e conexões cíclicas realiza um processo que dobra a carga em duas das placas, a cada ciclo completado” (JUNIOR, 2008, p. 24), por processo manual. O processo, no entanto, foi imediatamente mecanizado por Nicholson (HEILBRON, 1979).

entre uma lâmina de prata e uma de zinco foi capaz de provocar movimento nos indicadores de seu condensador” (PICCOLINO, 1998, p. 389).

Esse dispositivo [fig. 9] consiste em duas placas metálicas, separadas por uma camada isolante, acopladas a um eletrômetro; a placa superior possui uma haste isolante. Carrega-se a placa inferior e toca-se na superior com um dedo para aterrará-la, em seguida, ergue-se a placa superior pela sua haste e observa-se um desvio das folhas do eletrômetro. Isso evidencia que a placa inferior possuía uma carga oposta à da placa superior.

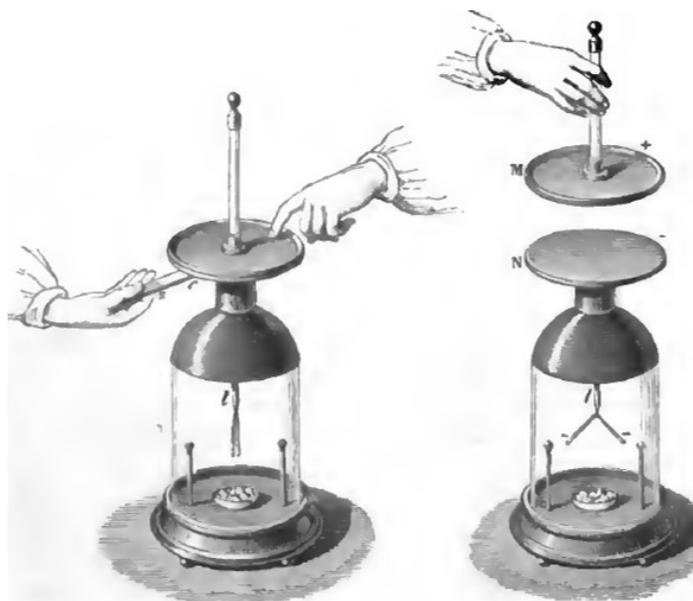


Figura 9- Experiência de Volta com seu eletrômetro de condensação em que constata eletricidade metálica. Extraída de Ganot (1859).

Entre 1796 e 1797 Volta apresenta novos resultados, à luz de uma pesquisa em que constructos teóricos, sobretudo com a verificação da combinação de condutores de primeira classe, dialogam proficuamente com os diversos experimentos desenvolvidos. Conjunto de experimentos, inclusive, pelo qual prevaleceu a diversidade de metais, condutores... que evidenciam de maneira cada vez mais ‘física’, sem o intermédio do componente orgânico, a força eletromotriz de um par de metais diferentes. Típico de experiências exploratórias, a variação de parâmetros experimentais, com os seus materiais, suas condições, etc., e a análise do efeito dessas alterações, são procedimentos epistêmicos essenciais para a estabilização, por exemplo, de resultados experimentais.

Em síntese, esse período pode ser considerado “como um divisor de águas no caminho que o levou à descoberta da bateria elétrica” (PANCALDI, 1990, p. 124). Volta mostrava a existência de eletricidade devido ao contato de diferentes metais, sem utilizar um sapo ou qualquer detector fisiológico, como sua língua. Por certo, Volta havia encontrado um

experimento ‘crucial’ (PERA, 1992). É nessa fase, também, que surge o termo “galvanismo”, utilizado nos títulos às cartas enviadas para Gren.

7.5 A ÚLTIMA MEMÓRIA DE GALVANI: O “QUARTO EXPERIMENTO” E SUA INVOCAÇÃO CRUCIAL

Depois da publicação do Tratado, em 1794, Galvani centra suas atenções no torpedo, sem deixar de lado, é claro, sua pesquisa com arcos condutores. Sua próxima publicação ocorre em setembro de 1797, uma última correspondência, antes de sua morte precoce no ano seguinte. É provável que ele não tenha lido as últimas ponderações de Volta, acima mencionadas, uma vez que foram publicadas, praticamente, em concomitância com suas Memórias (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

Em *Memorie sulla elettricità animale* (Memórias sobre eletricidade animal), composta por cinco memórias encaminhadas à Lazzaro Spallanzani (1729-1799), Galvani responde às críticas de Volta sobre o “terceiro experimento”, apresenta novas objeções às colocações do físico e alguns argumentos sobre a teoria geral da eletricidade por contato, em termos do que Volta publicara até 1795. Além disso, descreve um experimento com apelo crucial. “A memória representa, portanto, um texto fundamental, uma espécie de legado científico de Galvani” (PICCOLINO; BRESADOLA, p. 187).

[...] Por uma questão de clareza e ordem, decidi dividir meu trabalho em várias Memórias, as quais eu dirijo a você, e as submeto ao seu discernimento [...]. Você conhece a doutrina e a engenhosidade deste ilustre filósofo [Volta]. Você conhece os diversos experimentos belíssimos que ele realizou, você também sabe como eles tendem a destruir a eletricidade desse tipo [animal], e estabelecer a máquina animal [...] como, nada mais, do que um mero corpo úmido; tudo o oposto do que eu acredito, e estudei para demonstrar com o esforço e a labuta de muitos anos (GALVANI, 1797, p. 2).

Na primeira memória, Galvani apresenta objeções às críticas de Volta acerca de seu “terceiro experimento”. Seguindo o que havia argumentado no Tratado, ele reforça que a causa das contrações, no experimento com contato direto músculo-nervo, não pode ser uma irritação mecânica. Em “um crescente de criatividade laboratorial” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 188), ele faz variações importantes no experimento, dialogando-o profundamente com sua hipótese a fim, sobretudo, de refutar o argumento do físico.

É nesse sentido que, variando sistematicamente os componentes do experimento, e “convencido da importância de fornecer novos fatos em controvérsias científicas [...]” ele desenvolve, na segunda Memória, um “experimento que foi considerado ‘o mais importante da

eletrofisiologia’, a base real dessa nova ciência” (PICCOLINO, 1998, p. 389). O que pode ser chamado de “quarto experimento” (PERA, 1992) de Galvani consistia em obter contrações nas pernas de um sapo, devidamente preparado da maneira usual, conectando exclusivamente matéria nervosa, isto é, completamente homogênea. “Para destruir qualquer sombra de dúvidas”, diz ele, referindo-se à existência da eletricidade animal e não de uma eletricidade comum oriunda da dissimilaridade de condutores, é que “fiz o seguinte experimento” (GALVANI, 1797, p. 16).

O anatomista separou as duas pernas de uma rã, com seus respectivos nervos ciáticos cortados perto da medula espinhal [fig. 10]. Um dos nervos foi dobrado na forma de um pequeno arco; o nervo da outra perna foi levantado com um bastão de vidro e deixado cair levemente sobre o primeiro nervo. Nesse momento houve contrações em uma ou até nas duas pernas. Galvani ressalta, no entanto, que o nervo que caiu tocou o que estava dobrado em dois pontos, um deles sendo o orifício no nervo. Essa observação é importante, pois em termos atuais pode-se dizer que esse orifício do nervo expõe a parte interna das fibras nervosas que apresentam um potencial elétrico distinto da parte externa.

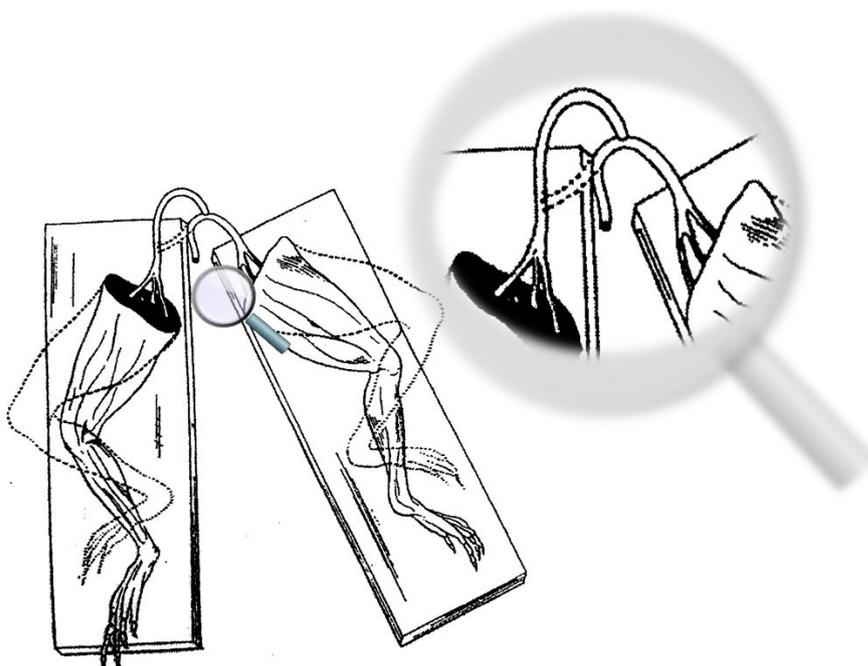


Figura 10- O “quarto experimento” de Galvani. Contrações foram obtidas com a ligação nervo-nervo. Adaptada de Piccolino e Bresadola, 2013.

A obtenção de contrações a partir de substância exclusivamente orgânica e homogênea parecia, em princípio, capaz de enfrentar qualquer objeção. “Parece-me, portanto, que existe outra série de contrações obtidas sem estímulo, sem metal e sem o menor sinal de dissimilaridade e, portanto, produzido por um circuito de eletricidade intrínseca ao animal e

naturalmente desequilibrado nele” (GALVANI, 1797, p. 17). A ideia central da *Memorie*, em termos epistemológicos, era de que, para além do raciocínio lógico, as experiências deveriam igualmente ser respondidas com novos experimentos, e este parecia um experimento decisivo. Essa concepção é uma alusão clara à visão de mundo que permeava o ambiente científico na época; influenciado pela concepção experimental newtoniana. Não obstante, a nova teoria geral da eletricidade por contato de Volta havia evidenciado, experimentalmente também, a geração de uma eletricidade com o uso restrito de metais, ainda que o anatomista não o tivesse lida.

Na terceira memória, Galvani repete e varia alguns dos experimentos desenvolvidos ao longo de sua controvérsia com Volta, inclusive aqueles com apelo crucial. Ainda que sua intenção fosse a de clarificar sua teoria da eletricidade animal, ele não poderia, mesmo se quisesse, refutar a nova teoria da eletricidade por contato de Volta (PERA, 1992). O certo é que, para ele, essas variações – ilustradas em duas placas na obra – representavam oito combinações [fig. 11] experimentais possíveis e suficientes entre um sapo preparado, as armaduras e o arco capazes de evidenciar que a causa das contrações em cada caso era devido a uma eletricidade intrínseca do animal.

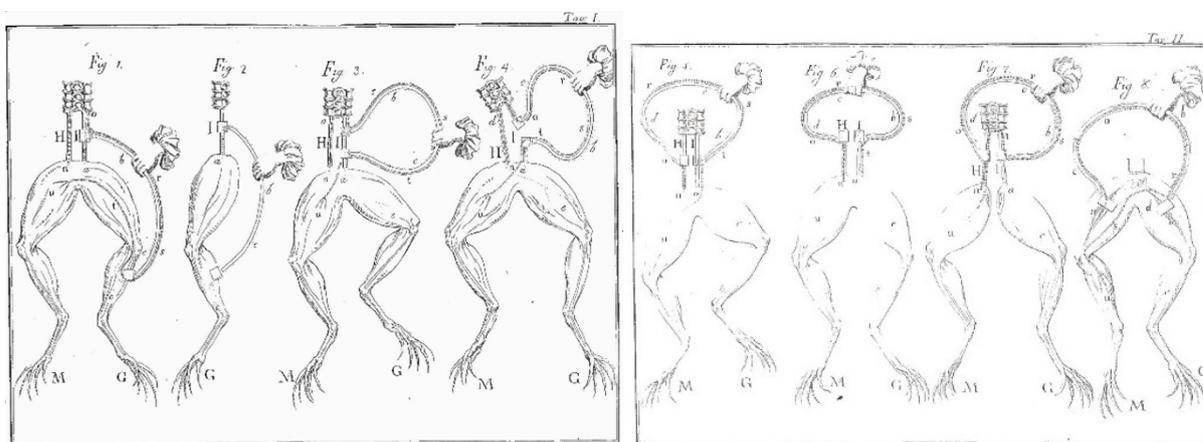


Figura 11- Placa 1 apresentada na Memória de Galvani (1797) com quatro representações: as duas primeiras configurações experimentais com um arco entre nervo e músculo e as duas subsequentes com um arco conectado apenas no nervo. Placa 2, também apresentada na Memória de Galvani (1797), com quatro representações: os três primeiros esquemas experimentais com um arco entre dois nervos e o último com um arco entre dois músculos. Extraídas de Galvani (1797).

Usadas como uma forma de persuasão, e embora fossem fruto de um intenso trabalho experimental, de longos anos, dialogado proficuamente com a hipótese da eletricidade intrínseca do sapo, as figuras evidenciavam, forçadamente ou não, a circulação da eletricidade nos termos galvânicos, a saber, provocada pelo músculo através do nervo e do arco. Os arranjos experimentais assim esboçados:

[...] Colocavam diante do leitor as circunstâncias fundamentais necessárias para a produção de um fenômeno particular e isso explicava [ainda mais] a sua importância. [...] Embora desenhadas com elegância formal, as figuras do *Memorie* aparentam ser mecanismos gráficos adequados para ilustrar claramente o fluxo elétrico que Galvani acreditava ter demonstrado em suas experiências (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 198).

Ainda em sua terceira Memória Galvani salienta que, “antes de mais nada”, é preciso “colocar a questão da forma mais clara possível” (GALVANI, 1797, p. 31). Nesse sentido, ele resgata a proposta contida no *De viribus*, juntamente com seus novos achados, e sintetiza em sete pontos a sua teoria.

- I. Que a eletricidade que induz as contrações musculares, se encontra singularmente reunida e acumulada no músculo, ou seja, na fibra muscular, mas num estado diferente [...], isto é, em estado de desequilíbrio, qualquer que seja a causa [...].
- II. Que em virtude desse desequilíbrio é feita a circulação de eletricidade no músculo.
- III. Que tal circulação consiste na eletricidade deixando o músculo, e retornando com todo esforço, por lei inviolável, para o mesmo [...].
- IV. Que tal circulação ocorre da seguinte maneira: a eletricidade deixando o músculo por meio do nervo; chegando ao lugar do nervo, que foi atraída pela força da armadura e do arco; saindo do nervo [...] saindo com as mesmas forças [isto é, sendo atraída da mesma forma que o nervo]; entrando no arco e, por meio dele, finalmente retornando com todo o poder para o músculo, de onde partiu.
- V. Que devido a essa tendência e a esse esforço que a eletricidade usa para retornar ao músculo, ela sempre escolhe o caminho mais curto para chegar ali; propriedade que ninguém pode negar ser a mesma observada com a eletricidade da garrafa de Leiden, ou do quadrado mágico [de Franklin].
- VI. Que os nervos, como é evidente pelo que foi exposto, são os condutores naturais e particulares da referida eletricidade [...].
- VII. Por último, que os nervos naturalmente exercem tal ofício com sua substância íntima e medular [...] (GALVANI, 1797, p. 30-31).

As contrações nas rãs eram, portanto, devido a uma corrente elétrica que fluiu do músculo para o nervo, e retorna ao músculo. Isso, como evidenciado no Tratado, dependia de uma máquina particular do animal, que matinha a eletricidade em estado de desequilíbrio.

Em suas quarta e quinta Memórias, Galvani se debruça, respectivamente, sobre os arcos heterogêneos e os peixes elétricos⁸³. Nestes últimos, ele desenvolve uma série de experimentos envolvendo o torpedo. Utilizando armaduras metálicas em seus nervos, ele conclui que essas armaduras “não são responsáveis pelo desequilíbrio da eletricidade, nem fornecem eletricidade própria; só podem aumentar um pouco a força elétrica quando esta é fraca” (GALVANI, 1797, p. 69). Por isso, no caso de peixe elétrico, o seu uso era indiferente. Isso lhe permite contrapor, ainda mais, o poder eletromotriz dos metais atribuído por Volta. Ao

⁸³ Na década de 1770 havia evidências claras de que os choques produzidos por alguns peixes, como os torpedos, tinham natureza elétrica. Os estudos de John Walsh (1726-1795), John Hunter (1728-1793) e Henry Cavendish (1731-1810), por exemplo, contribuíram consideravelmente nesse sentido (KOEHLER; FINGER; PICCOLINO, 2009).

mencionar uma experiência em que manteve um sapo preparado atrás de um torpedo sobre uma mesa, ele relata que foi “um show alegre vê-los todos se mover de uma só vez e, eu diria, saltitar”. O anatomista reitera, nesse sentido, que a eletricidade dos peixes elétricos e a eletricidade animal não diferem, concepção que já se fazia presente em seus estudos na década de 1780.

Cabe ressaltar que no início da *Memorie*, Galvani ainda chega a cogitar a possibilidade, embora remota e sem modificar ou eliminar qualquer convicção em sua própria teoria, de que pudessem coexistir as duas eletricidades (animal e de contato) para situações distintas. Poderia “permanecer a dúvida”, afirma, de que além das contrações dependentes da eletricidade animal, outras contrações “poderiam ser produzidas a partir de eletricidade extrínseca e comum ou existente nos mesmos metais que são usados para armaduras ou arcos” (GALVANI, 1797, p. 17).

Não obstante, o anatomista esperava que seu “quarto experimento”, juntamente com a clarificação de sua concepção com as placas apresentadas, pudesse convencer Volta e seus partidários da existência real de uma eletricidade animal. Isso, no entanto, não ocorre; “mesmo na ciência, nada é tão auto-evidente a ponto de obter aceitação geral de maneira simples e indiscutível” (PICCOLINO, 1998, p. 389). Nesse sentido, Volta contra-ataca em 1798.

7.6 O CONTRA-ATAQUE (FINAL) DE VOLTA

Em abril de 1798 Volta encaminha, de forma anônima, duas cartas à Aldini, nas quais rebate as colocações que Galvani apresentou em sua última memória. Com tom estarrecedor, o físico questiona:

Mas você acredita, meu caro Aldini, acredita de boa-fé, hoje, que esta é uma eletricidade animal real e própria [...] como Galvani já reivindicou, e outros com ele, e o mesmo ainda se esforça para apoiar em seu último trabalho publicado há meses atrás? [...] Eu acredito, e sustento constantemente, que é de fato uma eletricidade meramente artificial e extrínseca, que é movida pelo contato mútuo dos condutores [...] os quais são diferentes uns dos outros [...] (VOLTA, 1967, p. 502).

Fazendo menção aos seus experimentos anteriores – inclusive os apresentados em carta a Vassali e Gren – em que mostra a existência de eletricidade devido ao contato de diferentes metais, sem utilizar um sapo ou qualquer detector fisiológico, Volta salienta que “o assunto agora é levado a tal grau de evidência, que não pode sofrer mais nenhum conflito” (VOLTA, 1967, p. 502) e, para além disso, afirma que está “convencido de que Galvani ignorou

tais experiências decisivas, quando ele publicou seu último trabalho” (p. 506). Como frisado, no entanto, Galvani pode nem ter lido essas publicações.

Para Volta (1967, p. 506), “essas experiências fora do Galvanismo, em que não se utiliza nenhum corpo ou órgão animal”, eram decisivas e debilitavam fortemente a teoria galvânica. Em termos do exposto por Galvani em sua *Memorie*, o físico afirma que os argumentos do anatomista “de certa forma, foram dissolvidos, de modo que não tinham mais aquela força aparente” (p. 502); como teve o *De viribus*, por exemplo, uma vez que derradeiramente Volta havia constatado que, embora condutores de primeira classe fossem motores de eletricidade muito mais fortes que os corpos de segunda classe (úmidos), estes últimos eram capazes de gerar ‘força elétrica’.

O “quarto experimento” de Galvani era ‘facilmente’ explicado pela teoria de Volta, na visão do físico; nos casos em que a ligação ocorre entre nervo-nervo ou mesmo músculo-músculo, ainda que não haja uma heterogeneidade perceptível, deve-se supor que:

também ali, há alguma heterogeneidade, alguma diferença, se não substancial, pelo menos accidental, entre as partes dadas ao contato, ou as outras que compõem o círculo, alguma diferença que é suficiente para incitar e mover o fluido elétrico um pouco, e assim produzir o efeito observado de contrações musculares (VOLTA, 1798a, p. 528).

No final, Volta indaga: “agora, portanto, que a coisa não só é provada, mas colocada sob os olhos das experiências [...] o que você diz, meu querido Aldini, e o que mesmo Galvani dirá?” (VOLTA, 1798a, p. 555).

Em outubro do mesmo ano, em carta a Luigi Valentino Brugnatelli (1761-1818), Volta admite que mesmo “depois de ter feito e escrito tanto para demonstrar como infundada a alegação de uma eletricidade animal” (VOLTA, 1798b, p. 560-561), ele reconhece uma eletricidade animal real, mas somente no torpedo, na enguia e peixes que produzem choque. A eletricidade, nesses casos, seria genuína do animal, pois “depende da alma, isto é, obedece à vontade” (p. 561). Essa vontade estava ausente nos experimentos galvânicos em que o modo usual de preparação de rãs envolvia sua dissecação. Nos experimentos de Galvani, o fluido elétrico “não é movido por um princípio interno”, mas por uma causa externa, a saber, a aplicação de condutores dissimilares; esses condutores “são motores reais” diz ele, “como argumentei, e ainda continuo argumentando tendo [apresentado] evidências mais diretas disso” (p. 561).

Não obstante, ele visa uma reconciliação, ainda que superficialmente e admitindo-a como uma hipótese que, portanto, não teria o mesmo peso que argumentos amparados experimentalmente. Assim, cogita que:

Até certo ponto, portanto, esses motores externos substituem o motor interno, que no estado natural da vida é a vontade do animal. Se os galvanistas tiverem o prazer de reduzir a eletricidade animal nesses termos, eu ficaria feliz em concordar com eles. Se, no entanto, eles continuarem a rejeitar esse modo de conciliação, que estou oferecendo [...], se eles não se renderem a tal projeto de reconciliação, talvez eu possa retirar até isto, ou seja, não mais cogitar sequer aquela outra eletricidade animal dependente e movida pela vontade no ser vivo e intacto, exceto no torpedo e outros animais elétricos, pois, afinal, isso é **uma mera hipótese**, e só por essa razão eu pretendia avançar (VOLTA, 1798b, p. 561, grifo nosso).

O anatomista que “juntou ao gênio mais eminente, o conjunto de qualidades mais preciosas do coração” (ALIBERT, 1806, p. 332), infelizmente, não pôde responder as colocações de Volta por sua morte precoce em 4 de dezembro daquele mesmo ano. “Sua alma”, declara poeticamente Alibert (1806, p. 332), “uma pintura onde a virtude parecia ter sido pintada com todos os seus encantos e atrações”, adormece. No céu estrelado da controvérsia, apaga-se uma luz. Na resplandecência de uma ciência dinâmica, Galvani ilumina os caminhos da eletrofisiologia e Volta os da física, com a apresentação da pilha.

Em carta⁸⁴ a Joseph Banks (1743-1820) em 20 de março de 1800, Volta apresenta seu “órgão elétrico artificial” (VOLTA, 1800). Este trabalho é tido como um dos “mais importantes da história do eletromagnetismo e desencadeou uma revolução na ciência e na tecnologia” (MAGNAGHI; ASSIS, 2008, p. 119); mas é claro que não pode ser visto de forma isolada. Conforme se procurou evidenciar, o contexto da descoberta não dissociado da justificativa mostra uma longa história de pesquisa até a invenção da pilha.

Por certo, para muitos, e isto inclui Volta, o problema da eletricidade animal parecia estar resolvido e isso fez com que a teoria galvânica fosse deixada em segundo plano (STEINLE, 2016). No entanto, em uma ciência permeada por valores e seus juízos, é difícil conceber que um invento possa resolver uma querela em definitivo. Nas nuances de um processo não estático, e em retrospectiva, percebe-se que distintos valores, epistêmicos e não epistêmicos, tiveram um papel relevante nesse momento da história.

Apenas com o desenvolvimento posterior da eletrofisiologia pode-se entender e afirmar que o impasse entre Galvani e Volta era “um falso dilema, porque uma terceira possibilidade existia [...]. Havia, de fato, outra explicação capaz de esclarecer a necessidade da eletricidade animal invocada por Galvani e do poder eletromotriz dos metais concebidos por Volta” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 269). No entanto, essa questão foi objeto de pesquisa da eletrofisiologia nos últimos dois séculos. Com os estudos do fisiologista Alan Hodgkin (1914-1998) e seus colaboradores, entre 1934 e 1952, mostrou-se, então, que os sinais

⁸⁴ Carta traduzida e comentada por Magnaghi e Assis (2008).

nervosos são um fenômeno genuinamente elétrico, pois, como havia suposto Galvani, há uma condição de desequilíbrio nos tecidos animais. Além disso, Hodgkin – que está imerso em um contexto que advém de dois séculos de pesquisas sobre isso – explica a necessidade de haver um desequilíbrio para que a eletricidade animal possa ser colocada em movimento e produzir o sinal nervoso. Os arcos metálicos, nos experimentos de Volta, produziam esse desequilíbrio (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Por certo, aqui se tem uma rica continuação histórica, matéria para outros trabalhos.

7.7 A CRUCIALIDADE DOS EXPERIMENTOS NA CONTROVÉRSIA: IMPLICAÇÕES (SEMPRE INACABADAS) PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

O debate caloroso travado por Galvani e Volta, ao longo dos anos, evidencia a beleza de uma ciência que não se apresenta apática para os que dela analisam e se apropriam de todo o seu contexto; e não apenas de seus produtos. Apresentando argumentos e contra-argumentos, uma dinâmica evidente entre hipótese e experimentação, envolvendo a comunidade científica, abarcando um tema de extrema relevância para os instruídos (conhecedores de sua importância), acendendo a chama de uma ciência viva e dinâmica, esta é uma das maiores controvérsias da história da ciência (BERNARDI, 2000).

Galvani, em princípio, apresenta dois experimentos com apelo crucial – o “terceiro” e o “quarto” – enquanto Volta, antes da publicação sobre a pilha, desenvolve um. No âmbito de um jogo profícuo, onde os pressupostos teóricos de cada um dialogam proficuamente com os (copiosos) experimentos desenvolvidos, de que forma é possível atribuir a alguns experimentos um caráter crucial como muitos autores o confere, e por vezes os próprios estudiosos? (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013; PERA, 1992; MAURO, 1969; VERKHRATSKY; KRISHTAL; PETERSEN, 2006; PARENT, 2004).

Não é incomum, no ensino de ciências, persistir a ideia de que existem experimentos definidores e incontestáveis que permitem decidir entre teorias rivais (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000; CUPANI; PIETROCOLA, 2002; HODSON, 1988; SCHIEDECKE; PORTO, 2015; SILVA, 2010). Não obstante, esse entendimento limitado da experimentação, e da própria construção de conhecimento, carrega a presunção de que evidências independentes de pressupostos teóricos estão disponíveis, isto é, de que existe ‘neutralidade’ empírica e, por consequência, que não pode haver ambiguidade interpretativa de resultados empíricos. A rã enigmática nos estudos de Galvani e Volta elucidada, justamente, o quanto as observações são

carregadas de teorias. Por certo, exemplos históricos são úteis para propiciar discussões e compreensões *sobre* a ciência (CLOUGH; OSLOM, 2008). “Um olhar epistemológico da história da ciência, particularmente de controvérsias envolvendo cientistas, tem o potencial de ilustrar e contextualizar discussões sobre diversos aspectos relativos à temática NdC” (MARTINS, 2015, p. 727), dentre os quais, a relatividade do significado e atribuição de um experimento como crucial.

A noção de experimento crucial remete à ideia baconiana de *instacia crucis* (RAIČIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017a). Francis Bacon, em sua obra máxima, o *Novum Organum*, publicada em 1620, salienta que essas instâncias podem indicar um caminho a ser seguido quando, “na investigação de uma natureza, o intelecto se acha inseguro e em vias de se decidir entre duas ou mais naturezas que se devem atribuir à causa da natureza examinada” (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 161). Isto é, quando duas ou mais causas parecem responder igualmente bem a uma determinada natureza, faz-se necessário encontrar um fato que pode ser explicado por uma delas, somente. É como se os estudiosos se deparassem com uma encruzilhada e essa *instacia crucis*, ou mesmo instancia decisiva, como o filósofo também permite que seja chamada, se mostrasse como “muito esclarecedora e com significativa autoridade” (p. 161).

O “terceiro experimento” de Galvani, apresentado com apelo crucial, em princípio, parecia pôr fim à controvérsia, isto é, eliminaria qualquer possível contraponto de seu adversário. Como o próprio anatomista frisa, o experimento “é decisivo [...], na minha opinião” (GALVANI, 1841, p. 212). Ele “estava convencido de que o Tratado resolveria todas as dúvidas e acabaria com qualquer controvérsia, esclarecendo o problema da existência de eletricidade animal e do mecanismo de contração muscular” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 179). O experimento evidenciava a contração muscular de uma rã sem o uso de qualquer metal, o que, por certo, refutava a teoria especial de contato de Volta. O caráter refutador de um experimento crucial é frisado por Popper. O filósofo afirma que: “enquanto Bacon acreditava que uma experiência crucial poderia demonstrar ou verificar uma teoria, diremos que ela pode na melhor das hipóteses refutá-la” (POPPER, 1982, p. 139). Não obstante, Volta não apresentava um “intelecto inseguro”, ou seja, em vias de se decidir em meio a uma encruzilhada, pelo contrário, a réplica, o contraponto, vem logo em seguida com argumentos que colocariam em dúvida a crucialidade do experimento apresentado. No âmbito de um ensino pouco contextualizado histórica e filosoficamente, “é enganoso apresentar aos alunos a ideia de que as teorias são abandonadas por causa de alguns “resultados negativos” (HODSON, 1988, p-55). Os pressupostos teóricos dos envolvidos em uma controvérsia, com frequência, não se abalam

prontamente mesmo sob forte evidência empírica. O que parecia um experimento conclusivo e inquestionável, evidencia o quanto a ciência é complexa, permeada por valores, pressupostos teóricos. Volta, literalmente, “se recusou a ver no experimento uma prova definitiva da existência real da eletricidade animal” (PICCOLINO, 1998).

Rigorosamente, além disso, quando Galvani apresenta seu “terceiro experimento” não há duas causas que parecem responder bem à questão, a ponto de uma *instancia crucis* permitir que o estudioso tome uma decisão. Nesse caso, ambos estavam confiantes de suas próprias hipóteses. Há uma eletricidade animal para Galvani que lhe permite explicar bem seu experimento, como há, a todo custo, uma eletricidade externa que, de uma forma ou de outra, deveria explicar o feito galvânico à luz da perspectiva de Volta.

Por certo, para Galvani o terceiro experimento pode ter sido crucial por confirmar a sua hipótese, e o caráter confirmador de uma instancia crucial também é enfatizado por Bacon. Contudo, caso “considere-se a causa como duvidosa” (BACON, 1979, II, XXXVI, p. 167) – como na alegação de Volta de que o resultado encontrado poderia surgir devido a uma irritação mecânica – precisa-se prosseguir na investigação. Como, de fato, ocorreu. Nenhum conjunto de dados, nenhum experimento, mesmo que possua caráter confirmador, propicia uma conclusão definitiva, “pois esta está sempre vulnerável ao perigo do confronto com uma instância contraditória” (SILVA, 2008, p. 14).

Não raro, na divulgação da ciência por seus diversos meios, e inclusive em sala de aula, é comum considerar-se que o papel dos dados experimentais é o de propiciar aceitação ou rejeição a uma teoria (NIAZ, 2010). Porém, a ciência é demasiadamente dinâmica para se generalizar e balizar a função do componente empírico de forma tão incauta. Apesar de parecer que “contrações sem metais poderiam levar a controvérsia a um fim em favor de Galvani” (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 166), esse experimento (e tudo o que vem com ele) serviu, também, para que Volta repensasse sua teoria especial e propusesse uma teoria geral da eletricidade por contato. Em retrospectiva, fazendo alusão parcial à concepção de Imre Lakatos (1922-1974), o experimento pode ser visto como crucial por ter “aberto” os olhos de Volta e encaminhado e conduzido a controvérsia para novos rumos. Não obstante, interromper a história aqui seria deturpar a própria importância de Galvani.

O “quarto experimento” galvânico pode, à luz de um distanciamento histórico, ser crucial à eletrofisiologia (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013), um experimento fundamental para a fundação dessa área. Ainda assim, essa consideração é, novamente, parcial, pois não é um experimento, *per si*, que carrega consigo esse peso, mas todo um contexto histórico que,

inclusive, apresenta um conjunto de experimentos exploratórios desenvolvidos ao longo de anos e dialogados constantemente com hipóteses. Imerso nesse processo construtivo é que Galvani pôde dizer que o experimento poderia “destruir qualquer sombra de dúvidas” (GALVANI, 1797, p. 16). Com efeito, como ressalta Lakatos (1978, p. 164), “nenhuma experiência é crucial na altura em que é realizada (exceto talvez psicologicamente)”.

A reação de Volta, com sua nova teoria geral da eletricidade por contato, evidencia o quanto a ideia de um experimento definidor, incontestável e que permite decidir instantaneamente entre concepções divergentes, é um mito. Não obstante, o físico também considera seu experimento “tão mais simples quanto claro e decisivo” (VOLTA, 1967, p. 498). A experiência em que constata eletricidade metálica a partir de seu eletrômetro de condensação parecia, por certo, trazer tenras perspectivas à física. Mais uma vez, em retrospectiva, ela representa um novo e importante contributo para a história da ciência.

Enquanto Galvani desenvolvia seu último experimento com apelo crucial em favor da teoria da eletricidade animal, Volta estava, igualmente, realizando um para apoiar o poder dos metais na geração de eletricidade artificial. Isso evidencia o quanto o componente empírico pode ser limitado em momentos calorosos na ciência. Como explicita Pierre Duhem (1861-1916), em crítica contundente à ideia de experimento crucial, “a verdade de uma teoria física não se decide no cara ou coroa”, isto é, “um físico [estudioso] nunca está seguro de ter esgotado todas as hipóteses imagináveis” (DUHEM, 1984, p. 556). Isso desmorona qualquer alusão a experimentos decisivos. Para Duhem, não é possível a existência de experimentos cruciais na ciência. Nenhum teste empírico é uma resolução definitiva.

Cabe destacar que a concepção do que é, e se realmente existe experimento crucial na ciência, é relativa. Muitas análises do conceito na filosofia da ciência deturpam em maior ou menor grau a ideia inicial advinda de Bacon (HACKING, 2012) e, além disso, evidenciam a complexidade do tema e sua interpretação. Em síntese, e recorrendo novamente a Lakatos (1987, p. 284-285), “nenhum experimento isolado pode desempenhar um papel decisivo, muito menos ‘crucial’”. A partir de uma análise de experimentos exploratórios em episódios da ciência, essa colocação pode ficar mais clara.

As características da experimentação exploratória valorizam a relevância epistêmica da experimentação que, quando contextualizada histórica e filosoficamente, pode englobar a própria ideia de experiência crucial. Estes experimentos, como frisa Bacon (1979), pertencentes à construção de conhecimentos, são elucidativos; em meio à sombra, podem fornecer luz. Steinle (1997) defende que as funções epistêmicas da experimentação, que fogem à ideia

‘padrão’ de apenas servir à teoria, merecem mais atenção do que têm recebido, inclusive no ensino. “Nos livros didáticos”, enfatiza ele, “temos talvez a mais clara manifestação da ideia de que o conhecimento científico pode ser apresentado e estabelecido - ou, em outras palavras, ser justificado - sem qualquer consideração por sua gênese e desenvolvimento histórico” (STEINLE, 2006, p. 189). É nesse sentido que, inadvertidamente, o uso descontextualizado do termo experimento crucial, tão somente com apelo retórico e como forma de legitimação da ciência, evidencia uma clara distinção entre gênese e validade do conhecimento.

Um resgate histórico-filosófico da experimentação exploratória (STEINLE, 2002), pode trazer à cena as distintas funções do experimento para o desenvolvimento científico, permite compreender a limitação em se atribuir a um experimento a função crucial de decisão imediata e inequívoca, propicia uma reflexão da sua dependência com o contexto em que está inserida, seja histórico, cultural, epistemológico. A análise desses experimentos mostra que os caminhos científicos podem levar a um:

“um beco sem saída, às vezes a sucessos totalmente inesperados [...]. Essa mistura *impura* de princípios epistêmicos gerais e constelações históricas, materiais e biográficas específicas é [...], característico não apenas da pesquisa experimental, mas do desenvolvimento científico em geral” (STEINLE, 2002, p. 427).

E, por certo, uma maneira de especificar, analisar e refletir sobre este tipo de experimentação pode ser encontrada estudando-se detalhadamente a pesquisa científica sem dicotomizar seu processo e produto.

Não obstante, a controvérsia entre Galvani e Volta é tão fértil em termos histórico-epistemológicos que sua implicação não se limita à discussão epistêmica da experimentação, a não neutralidade, a seletividade da observação, a importância de conhecimentos precedentes, a dinâmica científica, plural metodologicamente, etc. Esse episódio suscita, ainda, uma série de outras questões como:

i) que tipo de controvérsia se deu entre Galvani e Volta? A título de exemplo, Raicik, Peduzzi e Angotti (2018), caracterizam três tipos de controvérsias científicas: analíticas, resistivas e argumentativas, que ressaltam as peculiaridades dessas querelas em distintos momentos da ciência e permite analisá-las e classificá-las à luz dessas características. Discussões pontuais, à luz do que os autores abordam, poderia ser feita com o debate aqui apresentado, evidenciando, por exemplo, a disputa pré-paradigmática em uma controvérsia analítica.

ii) Que valores epistêmicos ou não foram mais preponderantes no percurso do debate? A visão kuhniana de valores (KUHN, 2011), igualmente, permite analisar a limitação do

componente empírico na ciência. Thomas Kuhn (1922-1996) salienta que na escolha de teorias os membros de uma comunidade compartilham, normalmente, de um conjunto de valores, como precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência, que evidenciam boas razões para a tomada de decisão. Com efeito, “a disputa de teorias pela hegemonia do conhecimento envolve tanto aspectos de natureza interna quanto externa à ciência; podem ser bastante complexos e sutis os mecanismos envolvidos na aceitação de um novo conhecimento” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 27). Além disso, ainda seria possível discutir em que medida a controvérsia foi ou não resolvida. Ernan McMullin (1924-2011) (2003), ao apresentar uma classificação para o término de uma controvérsia, explicita que nem sempre elas são resolvidas, mas podem ser apenas encerradas ou abandonadas.

Estas questões, não discutidas no presente trabalho, fornecem subsídios para a discussão de outros aspectos relativos à Natureza da Ciência no ensino de ciências. Uma discussão específica acerca dos estudos iniciais de Galvani, como feito por Raicik (2019) estabelecendo um vínculo da ideia de experimentação exploratória, de acordo com Steinle, e a noção de *experientia literata* baconiana, pode também contribuir para minimizar o estereótipo de que a experimentação possui um papel limitado na ciência como fonte (no sentido de gênese) ou corroboradora de corpos teóricos. Ademais, um estudo detalhado sobre a pilha e seu impacto na sociedade pode, igualmente, contribuir para um ensino não apenas *da*, mas *sobre* a ciência. Diversos trabalhos se debruçaram sobre isto, com diferentes enfoques; a título de exemplo, cita-se Martins (1999), Oliveira e Oliveira (2001), Kipnis (2001), Germano, Lima e Silva (2012), Santos e Silva (2015), Jardim e Guerra (2018).

Por fim, cabe destacar que a discussão de controvérsias científicas, por meio da história da ciência, em sala de aula é uma forma profícua de “despertar o interesse pela ciência em alguns alunos” (KIPNIS, 2001, p. 33). Além de mostrar uma ciência mais humana, passível de subjetividades, influências históricas, sociais, epistemológicas, pode inspirar o uso de estratégias que sugerem que “olhar de diferentes perspectivas para um conceito científico pode facilitar a sua compreensão” (p. 33). Conceito, nesse caso, podendo inclusive ser entendido como concepções científicas, ideias, características da ciência.

REFERÊNCIAS

ALIBERT, J. L. **Éloges**: Historiques composés pour la société médicale de Paris. Paris: Crapelet, 1806.

BACON, F. **Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza**. Nova Atlântica. São Paulo: Abril Cultural, 1979.

BERNARDI, W. The controversy on animal electricity in eighteenth-century Italy: Galvani, Volta and others. In: Bevilacqua, F.; Fregonese, L. (eds), **Nuova Voltiana: Studies on Volta and his times** (pp. 101-114), 2000.

CARMO, L. A.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro de pás. In: **Atas do VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física**. Florianópolis, SC, Brasil, 2000.

CLOUGH, M. P.; OSLON, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, p. 143-145, 2008.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. especial, p. 100-125, 2002.

DIBNER, B. **Luigi Galvani: An expanded version of a biography prepared for the forthcoming edition of the Encyclopaedia Britannica**. Norwalk: Burndy Library, 1971.

DUHEM, P. Teoria física y experimento. **Teorema**, v. 14, n. 3, p. 547- 582, 1984.

FEEST, U.; STEINLE, F. Scientific Concepts and Investigative Practice: Introduction. IN: FESST, U.; STEINLE, F. (Ed.). **Scientific Concepts and Investigative Practice** (pp. 1-22). Berlim: Walter de Gruyter GmbH, 2012.

GALVANI, L. **Opere edite ed inedite del professore Luigi Galvani**. Raccolte e pubblicate per cura dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Bologna: Dall'Olmo, 1841.

GALVANI, L. **Memorie sulla elettricità animale di Luigi Galvani P. Professore di notomia nella Università di Bologna al celebre Abate Lazzaro Spallanzani Pubblico professore nella Università di Pavia. Aggiunte alcune elettriche esperienze di Gio Aldini P. prof. di física**. Bolonha: Sassi, 1797.

GANOT, A. **Cours de physique**. Paris: Chez L'Auteur-Éditeur, 1859.

GERMANO, M. G.; LIMA, I. P. C.; SILVA, A. P. B. Pilha Voltaica: entre rãs, acasos e necessidades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 145-155, 2012.

HACKING, I. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.

HEILBRON, J. L. Volta, Alessandro. In: GILLISPIE, C. C. (Ed.). **Dicionário de biografias científicas** (pp. 2552-2565). Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th & 18th Centuries**. Berkeley: University of California Press, 1979.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, 1988.

HOFF, H. E. Galvani and the pre-Galvanian electrophysiologists. **Annals of Science**, v. 1, n. 2, p. 157-172, 1936.

HOME, R. W. Electricity and the nervous fluid. **Journal of the History of Biology**, v. 3, n. 2, p. 235-251, 1970.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. e3603, 2018.

JENSEN, G. M.; PRESTES, M. E. B. Experimentos de Lazzaro Spallanzani com um “instrumento minerográfico”: como testar alegada habilidade de uma pessoa detectar depósitos de metais e água subterrânea?. **Filosofia e História da Biologia**, v. 3, p. 157-177, 2008.

JUNIOR, J. B. R. F. **História do desenvolvimento das máquinas eletrostáticas como estratégia para o ensino de conceitos de eletrostática**. Monografia (Licenciatura em Física) - Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 55p., Porto Alegre: 2008.

KIPNIS, N. Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. **Science & Education**, v. 10, p. 33-49, 2001.

KIPNIS, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. **Annals of Science**, v. 44, p. 107-142, 1987.

KOEHLER, P. J.; FINGER, S.; PICCOLINO, M. The ‘Eels’ of south America: Mid-18th-century dutch contributions to the theory of animal electricity. **Journal of the History of Biology**, p. 1-49, 2009.

KRAGH, H. Confusion and controversy: Nineteenth-century theories of the voltaic pile. In: BEVILACQUA, F.; FREGONESE, L. (Eds.). **Nuova voltiana: Studies in volta and his times** (pp. 133–157). Università Degli Studi di Pavia, 2000. Disponível em: <http://ppp.unipv.it/pagesIT/NuovaVoltFrame.htm>

KUHN, T. S. **A tensão essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. São Paulo: Unesp, 2011.

LAKATOS, I. **Matemáticas, ciencia y epistemologia**. Madrid: Alianza Editorial, 1987.

LAKATOS, I. **Falsificação e metodologia dos programas de investigação científica**. Portugal: Edições 70, 1978.

MAGNAGHI, C. P.; ASSIS, A. K. T. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes - Uma tradução comentada do artigo de Volta de

1800 descrevendo sua invenção da pilha elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 118-140, 2008.

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, R. A. Alessandro Volta e a invenção da pilha. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 823-835, 1999.

MAURO, A. The role of the Voltaic Pile in the Galvani-Volta controversy concerning animal vs. metallic electricity. **Journal of the History of Medicine and Allied Sciences**, v. 24, n. 2, p. 140-150, 1969.

McMULLIN, E. Scientific controversy and its termination. In: ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. (Ed.). **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology** (pp. 49-92). New York: Cambridge University Press, 2003.

NIAZ, M. Science curriculum and teacher education: The role of presuppositions, contradictions, controversies and speculations vs Kuhn's 'normal Science. **Teaching and Teacher Education**, v. 26, p. 891-899, 2010.

OLIVEIRA, A. G. M. I.; OLIVEIRA, I. T. P. Construção de uma pilha didática de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 1, p. 101-107, 2001.

PANCALDI, G. Electricity and Life. Volta's Path to the Battery. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, v. 21, n.1, p. 123-160, 1990.

PARENT, A. Giovanni Aldini: from animal electricity to human brain stimulation. **The Canadian Journal of Neurological Sciences**, v. 31, n. 4, p. 576-584, 2004.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência**. Abril, 2019, 57p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PERA, M. **The ambiguous frog**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1992.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. **Shocking Frogs**. New Your: Oxford Press, 2013.

PICCOLINO, M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. **Brain Research Bulletin**, v. 46, n. 5, p. 381-407, 1998.

POPPER, K. R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

POPPER, K. R. A ciência normal e seus perigos. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Eds.). **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento** (pp. 63-71). São Paulo: Cultrix, 1979.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p.253-262, 2002.

RAICIK, A. C. A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal. **No prelo**, 2019.

RAICIK, A.C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.1, p. 42-62, 2018.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 3, p. 192-206, 2017a.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica. **Física na Escola**, v. 15, n. 2, p. 24-30, 2017b.

SANTOS, M. E. M.; SILVA, E. L. Aspectos sócio-históricos relativos à eletricidade e pilha: contribuições para a formação de professores. **Scientia Plena**, v. 11, n. 6, p. 1-8, 2015.

SCHMIEDECKE, W. G.; PORTO, P. A. A história da ciência e a divulgação científica na TV: subsídios teóricos para uma abordagem crítica dessa aproximação no ensino de ciências.. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 2, p. 627-643, 2015.

SILVA, B. V. C. A Natureza da Ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório. **Lat. Am. J. Phys. Educ.**, v. 4, n. 3, p. 670-677, 2010.

SILVA, F. M. S. Sobre a indução em Francis Bacon. **Revista Urutáguá: revista acadêmica interdisciplinar**, v. 14, p. 1-17, 2008.

STEINE, F. **Exploratory Experiments: Ampère, Faraday, and the Origins of Electrodynamics**. USA: University of Pittsburgh Press, 2016.

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. In SCHICKORE, J.; STEINLE, F. (Ed.). **Revisiting Discovery and Justification** (pp. 183-195). Netherlands: Springer, 2006.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, 408- 432, 2002.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

TRUMPLER, M. J. **Questioning Nature: Experimental Investigations of Animal Electricity in Germany, 1791-1810**. Yale Univerity, 1992.

VERKHRATSKY, A.; KRISHTAL, O. A.; PETERSEN, H. O. From Galvani to patch clamp: the development of electrophysiology. **Pflugers Arch – Eur J Physiol**, n. 453, p. 233-247, 2006.

VOLTA, A. **Opere Scelte**, ed. M. Gliozzi. Turin: Utet, 1967.

VOLTA, A. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different species. Letter to Sir Joseph Banks, March, 20, 1800. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 90, p. 403-431, 1800.

VOLTA, A. **Lettere del Citt. N. N. di Como al Citt. Aldini Professore a Bologna intorno alla pretesa Elettricità Animale nelle Sperienze del Galvanismo - Lettera Seconda.**

Digitized by: Università degli Studi di Pavia, 1798a. Disponibile em: <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content/electricity/volta>

VOLTA, A. Minuta di Lettera al Prof. Brugnatelli, Digitized by: Università degli Studi di Pavia, 1798b. Disponibile em: <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content/electricity/volta>

VOLTA, A. **Lettere al Prof. Francesco Mocchetti - Lettera Seconda.** Digitized by: Università degli Studi di Pavia, 1795. Disponibile em: <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content/electricity/volta>

VOLTA, A. IV. Account of some discoveries made by Mr. Galvani, of Bologna; with experiments and observations on them. In two letters from Mr. Alexander Volta, F. R. S. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to Mr. Tiberius Cavallo, F. R. S. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 83, p. 10-44, 1793. Disponibile em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1793.0005>

VOLTA, A. (anônimo). Transunto di osservazioni sull'elettricità animale ed alcune nuove proprietà del fluido elettrico. In: Marelli, G. (Ed.). **Opuscoli Scelti sulle scienze e sulle arti**, Tomo XV, p. 213-215, 1792a.

VOLTA, A. **Risposta alle Domande dell'Abate Tommaselli.** Digitized by: Università degli Studi di Pavia, 1792b. Disponibile em: <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content/electricity/volta>

Capítulo 8

O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a (ini)migo

8 O TÉRMINO DE UMA CONTROVÉRSIA NÃO RESOLVIDA: A ENIGMÁTICA QUERELA ENTRE GALVANI, VOLTA E UM SAPO A(IN)MIGO⁸⁵

The terminus of an unresolved controversy: the enigmatic quarrel between Galvani, Volta and a friendly (or not) frog

Resumo

Este artigo discorre sobre alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento na ciência, à luz de considerações kuhnianas, como o que surge com a divulgação da pilha por Alessandro Volta, em 1800. Além disso, discute como se deu o término da controvérsia que Volta trava com Luigi Galvani, acerca da eletricidade animal, a partir de uma classificação de McMullin (2003). Por fim, apresenta implicações para o ensino de ciências, sobretudo, para desmistificar a ideia de que o componente empírico é sempre o árbitro infalível que permite escolhas teóricas inequívocas.

Palavras-chave: Controvérsia; Volta; Galvani; valores.

Abstract

This article discusses some values involved in the acceptance of new knowledge in science, in the light of Kuhn's considerations as to what comes with the release of the battery by Alessandro Volta in 1800. Moreover, it discusses how the controversy that Volta has with Luigi Galvani about animal electricity ended, based on a classification by McMullin (2003). Finally, it has implications for science education, especially to demystify the idea that the empirical component is always the infallible arbiter that allows unequivocal theoretical choices.

Keywords: Controversy; Volta; Galvani; values.

8.1 INTRODUÇÃO

A controvérsia travada entre o anatomista Luigi Galvani (1737-1798) e o físico Alessandro Volta (1745-1827) [fig. 1] acerca da eletricidade animal, após a publicação do *De viribus electricitatis in motu musculari* (Comentários sobre o efeito da eletricidade nos movimentos musculares) pelo primeiro, no final do século XVIII, é uma das mais emblemáticas da história da ciência (BERNARDI, 2000; RAICIK, 2019a; RAICIK, 2019b; PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013; KIPNIS, 1987).

Constituindo-se exemplo de controvérsia analítica (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018), aquelas que ocorrem em períodos pré-paradigmáticos e que têm o componente empírico como cerne do debate, a querela Galvani-Volta evidencia o quanto os caminhos para a aceitação de um novo conhecimento na ciência podem ser sutis e complexos. O desenrolar de uma controvérsia analítica pode tornar-se tão intrincado a ponto de não permitir que a explicação

⁸⁵ Submetido à publicação.

empírica seja suficiente, por si mesma, para que estudiosos escolham entre as teorias⁸⁶ que despontam nesse momento de efervescência teórica. Esse tipo de controvérsia comporta um constante jogo entre hipóteses e experimentação e pode demonstrar, como outras disputas, a falta de consenso em termos teóricos, metodológicos, instrumentais etc., entre seus oponentes.

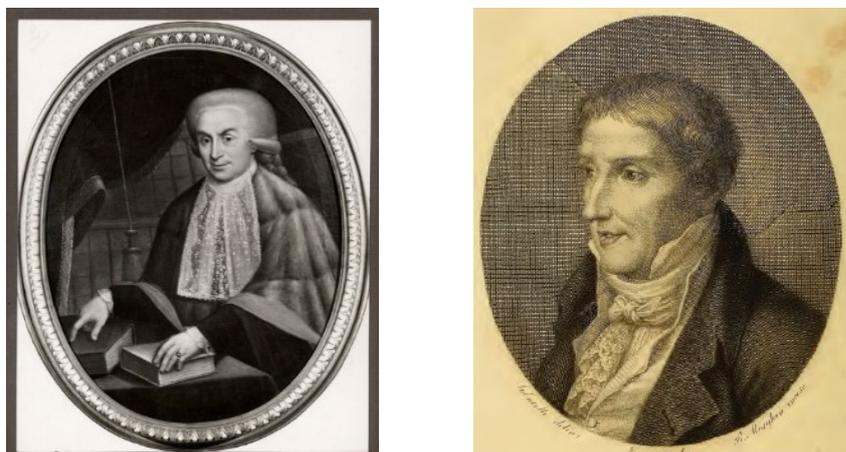


Figura 1 – À esquerda, o anatomista Luigi Galvani. À direita, o físico Alessandro Volta⁸⁷.

No ensino de ciências, em que a valorização de resultados se sobressai ao do contexto de produção de conhecimento, ainda persiste – embora haja esforços expressivos e exponenciais nos últimos anos para se mudar isso – a ideia de que as controvérsias científicas são terminadas por apelo ao componente empírico. Materiais didáticos, discursos de professores, livros de divulgação científica, vídeos, filmes, refletem, muitas vezes, o estereótipo de que certos experimentos, considerados arbitrariamente como cruciais, permitem uma tomada de decisão, entre teorias, de forma incontestável e imediata (HODSON, 1988).

A escolha teórica entre paradigmas, ou em período pré-paradigmático, não se processa alicerçada em regras ou critérios isentos de julgamento; não pode haver uma solução puramente normativa [...]. Até mesmo as experiências, tão distintas por tanto tempo na ciência, envolvem técnicas de observação, instrumentação, interpretação e não podem atuar como um árbitro imparcial na escolha teórica (RAICIK; ANGOTTI, 2019, p. 335).

Thomas Kuhn (2011) ressalta que, normalmente, os estudiosos compartilham de um conjunto de valores como precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência, entre outros, que evidenciam boas razões para a tomada de decisão (CORDEIRO, 2016; RAICIK; ANGOTTI, 2019). Esses valores, que podem envolver fatores objetivos e subjetivos ou critérios compartilhados e individuais, são passíveis de juízos e, portanto, são norteadores

⁸⁶ O termo teoria é utilizado, por vezes, como sinônimo de hipóteses, assim como ocorre com frequência nas obras aqui citadas.

⁸⁷ Extraídas, respectivamente de www.archivistorico.unibo.it e Dibner (1816).

ou mediadores de escolhas teóricas, não conduzem sempre e necessariamente ao término de um desacordo.

No âmbito do positivismo lógico, esses valores eram entendidos como regras lógicas para a escolha teórica; não suscetíveis a juízos e mudanças em contexto histórico. Não obstante, considerar esses critérios como valores permite, como enfatiza Kuhn (2011, p. 351), “que os critérios usuais funcionem de modo irrestrito nos estágios iniciais de escolha de teorias, período em que são mais necessários, mas que segundo a concepção tradicional [positivista] funcionam mal ou nem funcionam”.

Volta, ao se debruçar sobre a obra do anatomista italiano reconhece, inicialmente, todo o mérito de um novo conhecimento que se apresentava à ciência. Ele enfatiza que a descoberta é “brilhante”, não apenas pelo que traz “de novo e admirável, mas porque abre um vasto campo de pesquisa, não menos interessante e curioso, e de úteis aplicações” (VOLTA, 1967, p. 371). Em princípio, além de reconhecer a fecundidade da teoria, sobretudo por apresentar uma original explicação para um problema que persistia desde a antiguidade – a busca pelo entendimento do processo de contração muscular – Volta valorizou sua precisão. Galvani havia conseguido apresentar, aparentemente, uma clara concordância de sua teoria da eletricidade intrínseca animal com inúmeras experiências e observações. O anatomista havia “provado pela evidência [sua teoria], com muitas experiências bem combinadas e cuidadosamente descritas” (VOLTA, 1967, p. 372). Os experimentos qualitativos, condizentes com a explicação dada, apresentavam um peso relativo para a valorização do novo conhecimento anunciado, nesse primeiro momento. Como enaltece o historiador da ciência Walter Bernardi (2000), ele havia feito um “avanço que foi considerado revolucionário pelos cientistas de sua época” (p. 101). Todavia, em uma ciência permeada por valores e características de cada indivíduo, essa reação de Volta foi efêmera. Ademais, apesar de uma aceitação eminente, a teoria da eletricidade animal galvânica encontrou de imediato críticas de adeptos da teoria da irritabilidade de Albrecht von Haller (1708-1777) (BERNARDI, 2000; HOFF, 1936).

Como aponta Kuhn (2011), antes de um conhecimento ser aceito e se estabelecer na ciência, a nova teoria é ‘testada’, analisada, estudada, ponderada durante algum tempo. Volta, no início, dirige-se com apreço à teoria de Galvani, mas com o desenvolvimento de novos experimentos e hipóteses, começa a construir sua própria teoria.

Quando Volta publica suas primeiras *Memorie sull’eletricit à animale* (Memórias sobre eletricidade animal), semanas depois de ter lido o *De viribus*, ele já apresenta discordâncias de ordem teórica e metodológica em relação ao corpo de conhecimento

apresentado por Galvani. A adequação empírica pareceu se conciliar a um caso muito particular; aquele em que experimentos eram desenvolvidos com rãs devidamente preparadas, a saber, dissecadas. Volta, ao perceber experimentalmente que com sapos vivos ocorriam contrações com a utilização de metais dissimilares, começa a se deparar com possíveis inconsistências na teoria de Galvani. No mínimo, nesse início de desacordo, a “espetacular” teoria da eletricidade animal tinha sua abrangência limitada. Os metais, para além de meros componentes passivos, como já reconhecia Galvani, ganhavam um *status* de agentes da contração. Volta começa a admitir que seus experimentos com animais vivos, poderiam evidenciar que a teoria do anatomista ou não era correta, ou era limitada. Por certo, as diversas maneiras com que a tomada de decisão é feita na ciência, isto é, como se dá o abandono de uma teoria por outra, envolvem a discussão “sobre técnicas de persuasão, ou sobre argumento e contra-argumento” (KUHN, 2011, p. 339).

Os anos de discórdia entre o anatomista e o físico, sempre cordiais e respeitosos, envolveram distintas publicações (entre elas Galvani, 1753; 1781; 1797 e Volta, 1767; 1793; 1792; 1918) e tiveram o sobrinho e assistente de Galvani, Giovanni Aldini (1762-1834) como protagonista de muitas discussões e porta voz de seu tio. As diversas trocas de críticas, historicamente construtivas, evidenciam justamente o quanto “a relação entre uma teoria/concepção teórica e seus fundamentos experimentais nada tem de trivial” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 41). Por certo, os experimentos desenvolvidos por Volta o levaram a invenção do “órgão elétrico artificial”, que propiciou novos estudos na eletricidade, eletroquímica, eletromagnetismo. Não obstante, as pesquisas galvânicas estabeleceram as bases para a eletrofisiologia. Além disso, a controvérsia que travam, acerca da eletricidade animal, evidencia que “o aparente sucesso de uma demonstração científica depende não apenas de sua ‘veracidade’ intrínseca, mas também de outros fatores, até mesmo de caráter extra científico” (PICCOLINO, 1998, p. 383). Esse percurso, que principalmente em retrospectiva mostra o sucesso de ambos, exemplifica que o desenrolar de uma controvérsia pode ser tão complexo que envolve não apenas uma explicação empírica para um fenômeno, em princípio novo, mas um conjunto de compromissos de pesquisa, entre eles, distintos valores e seus juízos.

A publicação da invenção da pilha por Volta, em 1800, foi um marco para a ciência. Com o impacto do instrumento apresentado, e com Galvani já falecido, parecia que a controvérsia entre eles estava resolvida. Não obstante, a ciência tem suas (muitas) sutilezas. Apesar do caráter revolucionário do invento, o sapo, nos experimentos desenvolvidos na

controvérsia, permanecia ambíguo; sua amizade (ou inimizade) não havia sido desfeita com a pilha, tampouco com o falecimento de Galvani.

Nesse sentido, este artigo visa discorrer sobre alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento na ciência, como o que surge com a divulgação da pilha por Volta, à luz de considerações kuhnianas, bem como discutir como se deu o término do debate entre o físico e o anatomista a partir de uma classificação de McMullin (2003). Além disso, apresenta implicações para o ensino de ciências, sobretudo, para desmistificar a ideia de que o componente empírico, a precisão, é sempre o árbitro infalível que permite escolhas teóricas inequívocas⁸⁸.

8.2 A DIVULGAÇÃO DA PILHA: O ÓRGÃO ELÉTRICO ARTIFICIAL

O impacto da carta *On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different species* (Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes), datada de 20 de março de 1800, encaminhada a Joseph Banks e posteriormente publicada no *Philosophical Transactions*, foi revolucionário. “É como se um novo mundo, um mundo inconcebível, tivesse sido descoberto” (PERA, 1992, p. 153). A apresentação da pilha, com efeito, inaugura uma nova era na física, abre as portas para caminhos inimagináveis. Nas palavras de Volta:

[...] o aparelho de que estou falando e que sem dúvida causará admiração, não é senão a junção de certa quantidade de bons condutores de natureza diferente, dispostos em uma determinada maneira [...] Este aparelho, similar na essência, como demonstrarei, e mesmo pela maneira como o construí, também na forma, ao *órgão elétrico natural* do torpedo, da enguia elétrica, etc. mais do que às garrafas de Leiden e às baterias elétricas conhecidas, gostaria de chamar a este aparelho de *órgão elétrico artificial* (VOLTA, 1800, p. 404,405; MAGNAGHI; ASSIS, 2008, p. 120-121).

Na carta, Volta descreve o seu instrumento. Ele apresenta duas montagens da bateria: de colunas e de “coroa de copos” [fig. 2]. No primeiro caso, o físico sobrepõe discos de dois metais distintos (cobre e estanho ou prata e zinco, normalmente), interpostos com discos úmidos (de matéria esponjosa, capaz de absorver água “ou de algum outro líquido que seja melhor condutor que a água pura, como a água salgada, lixívia, etc., ou pedaços de cartão ou pele bem molhados”) (VOLTA, 1800, P. 404; MAGNAGHI E ASSIS, 2008, p. 121). Na coroa de copos,

⁸⁸ Os estudos de Galvani que o levam à teoria da eletricidade animal, publicada no *De viribus electricitatis in motu musculari*, e a controvérsia que trava com Volta, logo em seguida, podem ser encontrados, respectivamente, em Raicik (2019a) e Raicik (2019b).

ele associa, por meio de ‘coroas’ (arcos, pontes) bimetálicas, uma série de copos de qualquer material, exceto metal, preenchidos pela metade com água pura, salgada ou lixívia. As ligas metálicas poderiam ser, entre outros metais, de cobre e estanho ou prata e zinco.



Fig. 1.

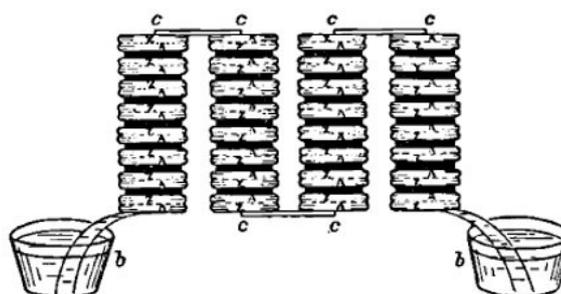
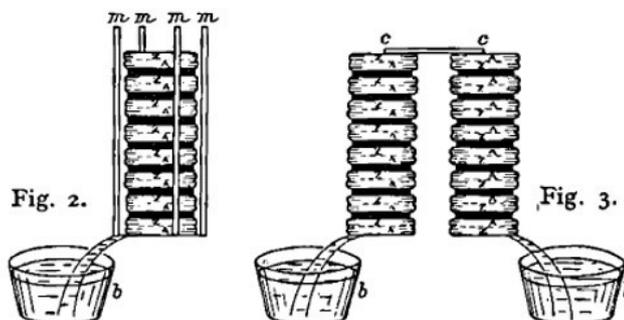


Fig. 4.

Figura 2 – Pilha de coroa de copos e pilha de colunas. Extraída de Volta (1967).

O seu órgão elétrico artificial era, essencialmente, análogo ao órgão do torpedo e das enguias. Em ambos os casos, era a alternância de diferentes condutores que produziam eletricidade, uma vez que atuavam como motores de eletricidade quando em contato (PICCOLINO, 1998).

A qual eletricidade, então, a qual instrumento deve ser comparado este órgão do torpedo e da enguia elétrica? A este que construí de acordo com o novo princípio da eletricidade que descobri há alguns anos e que minhas experiências sucessivas, sobretudo as de que me ocupo atualmente, confirmaram tão bem, ou seja, que os condutores também funcionam, em alguns casos, como motores da eletricidade, no caso do contato mútuo entre diferentes condutores; chamei este aparelho de órgão elétrico artificial, o qual, sendo no fundo o mesmo que o órgão natural do torpedo, ainda é semelhante a ele na forma (VOLTA, 1800, P. 430-431; MAGNAGHI; ASSIS, 2008, P. 139).

A ênfase dada por Volta à semelhança da pilha com os peixes elétricos, além de visar “silenciar os galvanistas” (HEILBRON, 2007, p. 2562), evidencia o quanto seu interesse nesses peixes, e na possibilidade de explicá-los para além de uma eletricidade animal genuína, mas

por fatores físicos, representa um aspecto fundamental no caminho que o leva à sua descoberta (KIPNIS, 2001; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

De alguma forma, os órgãos do torpedo [...] tornaram-se para Volta o que a garrafa de Leiden havia sido para Galvani. É certamente um tipo de paradoxo histórico que um ‘físico’ como Volta tenha dirigido seu esforço a uma imagem mental derivada do mundo animal, enquanto um ‘fisiologista’ como Galvani tenha tirado sua inspiração de uma das mais famosas ferramentas físicas do século XVIII (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 256).

O certo é que Volta salienta que as novas experiências por ele desenvolvidas, e outras ainda a serem realizadas, abrem um campo profícuo de reflexões e estudos que podem interessar “o anatomista, o fisiologista e o clínico geral” (VOLTA, 1800, p. 429), além de físicos, sem dúvida. Não obstante, a carta “contém silêncios, mal-entendidos e exageros que não podem ser atribuídos à pressa ou às circunstâncias de sua escrita” (PERA, 1992, p. 159). Sobretudo no que se refere aos efeitos químicos da pilha, inevitavelmente observados, mas não comentados – como a oxidação ou a formação de bolhas na coroa de copos –, é que essas críticas incidem. Ao passo em que a carta não apenas objetivava descrever a pilha, mas estabelecer a teoria da eletricidade por contato, “qualquer coisa incompatível com ela não era observada ou, se observada, ignorada em silêncio ou, se mencionada, reinterpretada de forma *ad hoc*” (PERA, 1992, p. 160). Provavelmente, Volta temia que isso pudesse minar sua explicação de contato puramente não-químico, uma vez que em outras publicações ele enfatiza que o condutor úmido tinha por única função permitir a passagem da corrente; a ação da pilha se devia unicamente ao contato entre os metais (KRAGH, 2000). Com efeito, depois de sua publicação e até a década de 1840, uma controvérsia havia se instaurado entre estudiosos que defendiam a noção de Volta de eletricidade por contato e aqueles que argumentavam que a pilha deveria ser explicada em termos químicos (KRAGH, 2000).

Atrelado a isso surgem os exageros, como o de usar o instrumento para afirmar sua teoria. Embora Volta considerasse que a querela com Galvani já havia sido resolvida com experiência em que constata eletricidade metálica a partir de seu eletrômetro de condensação (RAICIK, 2019b), em 1797, foi a pilha que fez com que muitos estudiosos se voltassem à sua teoria e não a do anatomista (KIPNIS, 1987). Em princípio, Volta parece ter sido “declarado como vencedor da controvérsia” (SOEIRO, 2013, p. 217), quando apresentou seu instrumento fantástico. “Para a maioria dos estudiosos, este documento constitui o julgamento definitivo da eletricidade animal” (MAURO, 1969, p. 143). Mas será mesmo que a controvérsia havia sido resolvida com o *órgão elétrico artificial*?

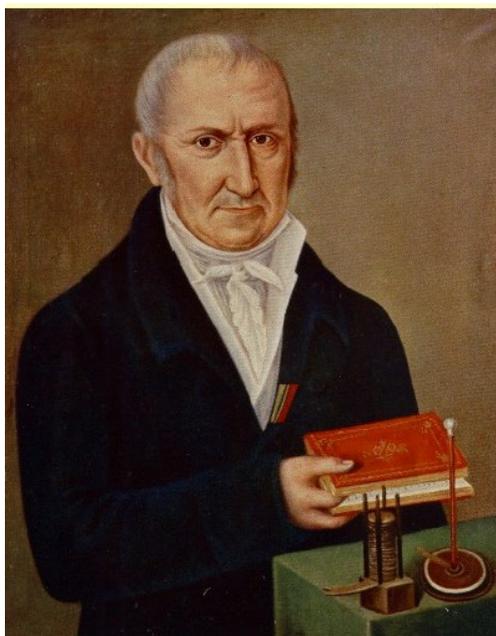


Figura 3 – Volta com sua pilha e seu eletróforo⁸⁹.

8.3 A SOBERANIA DE UM APARELHO E O ESQUECIMENTO DE UM SAPO ENIGMÁTICO: UMA QUERELA TERMINADA, MAS NÃO RESOLVIDA

A última publicação de Galvani, *Memorie sulla elettricità animale* (Memórias sobre eletricidade animal), em que apresenta o seu “quarto experimento”⁹⁰ (PERA 1992; RAICIK, 2019b), que considera decisivo para evidenciar uma eletricidade animal, ocorre em 1797. Esse experimento consistia em obter contrações nas pernas de um sapo, devidamente dissecado, conectando exclusivamente matéria nervosa, isto é, completamente homogênea.

Depois disso, sua vida sofre uma ‘metamorfose’. Ele teve de “enfrentar uma das piores humilhações que uma pessoa como ele poderia sofrer” (BRESADOLA, 1998, p. 379). Foi privado de seus cargos na Universidade e no Instituto de Ciências de Bolonha por se recusar a prestar fidelidade à República Cisalpina, recém-criada pelos franceses após a ocupação da Itália (BROWN, 2007; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). A nova autoridade de Napoleão Bonaparte “decidiu privá-lo de todas as suas posições acadêmicas e públicas, retirando todo apoio financeiro. O que tinha sido o seu mundo por toda a sua vida caiu sobre ele”

⁸⁹ Extraída de <http://ppp.unipv.it/volta/>.

⁹⁰ Na literatura mais especializada, alguns experimentos de Galvani em seus estudos da eletricidade animal são considerados mais famosos e impactantes e, portanto, receberam a especificação de primeiro, segundo e terceiro experimento galvânico (Hoff, 1936; Dibner, 1971; Pera, 1992; Piccolino; Bresadola, 2013). Pera (1992), ainda denomina de o “quarto experimento”, um experimento variante do terceiro e desenvolvido em 1797.

(BRESADOLA, 1998, p. 329). Em 4 de dezembro de 1798, Galvani falece. Como Alibert poeticamente salienta, e não sem afáveis e descomedidas palavras (1806, p. 537):

Toda a Europa erudita foi dolorosamente afetada pela perda desse grande homem. O secretário do Instituto de Bolonha anunciou sua morte em uma reunião pública e a consternação foi universal. Jamais uma cena tão tocante foi vista pelos espectadores. Lágrimas escaparam de todos os olhos [...] (ALIBERT, 1806, p. 537).

McMullin (2003), ao apresentar uma classificação para o término de controvérsias, argumenta que elas podem ser *resolvidas*, *encerradas* e/ou *abandonadas*. Para o físico e filósofo da ciência, os valores epistêmicos, em que o conhecimento é baseado, e os não epistêmicos, externos ao empreendimento científico, são relevantes e atuam distintamente no processo de terminação desses debates (RAICIK; ANGOTTI, 2019).

No ínterim entre a exoneração e morte de Galvani, a controvérsia começa a ser *encerrada*. Como argumenta McMullin, a autoridade de estado e a retirada de publicações, a título de exemplo, podem ser fatores decisivos em um debate. O afastamento de Galvani, nitidamente um fator não epistêmico, foi essencial para o encerramento que, com efeito, não significa resolução da controvérsia. “Quando uma controvérsia termina com o encerramento, o desacordo original ainda persiste em certa medida” (McMULLIN, 2003, p. 79). A comunidade, naquele momento, pode não considerar resolvido adequadamente o problema central da querela. Cabe aos valores epistêmicos o papel significativo de resolver controvérsias. Isso não exige valores não epistêmicos, que podem ser decisivos e intervir junto aos epistêmicos.

Efetivamente, a controvérsia é *abandonada* com o falecimento do anatomista. Isto significa que ela simplesmente desaparece. A perda de interesse, o esgotamento e até mesmo o óbito de um dos envolvidos contribuem para isso. Nestes casos, igualmente, a querela não é resolvida. O ritmo da pesquisa em eletricidade animal, por exemplo, diminuiu por quase três décadas depois de Galvani (BRESADOLA, 1998). Ainda que Aldini tenha continuado as pesquisas do tio, a teoria não tinha mais a força de antes. Fatores externos, valores não epistêmicos, influenciam a ciência, em maior ou menor medida. Enquanto isso, Volta estava no auge de seus anos de glória.

A controvérsia havia terminado, portanto, antes mesmo da publicação da pilha. Mas como nem tudo é “preto no branco” na ciência, a comunidade viu na pilha um critério importante para resolver, em definitivo, a querela. Em retrospectiva, no entanto, entende-se que a resolução desse debate caloroso vai surgir com a explicação de Alan Hodgkin (e seus colaboradores, certamente), dois séculos depois.

Não obstante, o impacto da pilha, em uma ciência que primava por experimentos e instrumentos, foi imediato. Mesmo que o órgão elétrico artificial não tivesse uma plena base teórica, pois se restringia à concepção de eletricidade por contato, a sua replicação e o seu uso evidenciaram sua pronta aceitação. Isto certamente contrasta com a exigência de sustentação teórica dos instrumentos desde o período da ciência moderna. O telescópio de Galileu, por exemplo, sofreu uma resistência considerável pela falta de aporte teórico, o que não ocorreu com o telescópio de reflexão, construído e explicado teoricamente por Newton.

Apesar de muitos estudiosos terem sido atraídos pela teoria de Galvani, incluindo muitos fisiologistas, um conjunto de fatores os levou a aderirem à concepção de Volta e abandonarem a eletricidade animal. A teoria de Volta era, relativamente, mais simples. Para os físicos, sua simplicidade era vista pela economia de hipóteses biológicas (PERA, 1992). Para os fisiologistas, a concepção de Galvani, mesmo antes da publicação da pilha, “era um assunto muito complicado para estudo na época” (KIPNIS, 1987, p. 142). Além disso, muitos viram a pilha como algo que refutava a teoria de Galvani, o que a história evidencia não ser verdade. A abrangência da teoria também foi um valor que influenciou consideravelmente a comunidade. Em retrospectiva ambas as teorias extrapolavam as observações, leis e subteorias para as quais haviam sido formuladas, a pilha à física, química etc., enquanto a teoria galvânica à eletrofisiologia. Todavia, na época, o impacto da pilha se mostrou mais abrangente. A citação do médico Giovacchino Carradori, “os experimentos de Galvani e Aldini não formam um sistema geral, mas são instâncias particulares de um sistema geral que Volta descobriu e demonstrou” (1817, p. 65), evidencia a ideia que se perpetuou naquele momento. Logo, a fecundidade foi outro aspecto relevante. Muitos estudiosos se preocupam com o impacto de seus estudos e preferem teorias mais fecundas, ou seja, aquelas que, aparentemente, encontram novos achados de pesquisa, propiciam novos fenômenos, permitem que a relação de fenômenos antes ignorados seja clarificada ou compreendida (KUHN, 2011).

A recepção precoce da bateria voltaica mostra que o consenso sobre como a bateria funcionava, e sobre suas implicações para a filosofia natural, estava claramente ausente nos círculos especializados e amadores da Europa nos primeiros anos após a introdução do novo instrumento. Apesar disso, especialistas, amadores e até mesmo chefes de estado como o general [Napoleão] Bonaparte - frequentemente informados da conquista de Volta apenas pela imprensa diária - mostraram-se capazes e dispostos a celebrar os méritos da contribuição de Volta ao conhecimento especializado perante as elites cultas da Europa (PANCALDI, 2003, p. 4-5).

A relação política e científica, de interesse mútuo, que Volta estabelece com Napoleão também influencia, de certa forma, a aceitação da pilha (HEILBRON, 2007). Em 1801 ele foi agraciado, pelo Imperador, com uma medalha de ouro por seu invento. Esse envolvimento, que

trouxe mais fama ao físico, contribuiu para uma vitória da física sobre a fisiologia, embora em termos históricos isso seja demasiadamente reducionista. O certo é que, o sucesso da pilha e a ligeira percepção da comunidade dos fenômenos químicos que abarcava, ajudou, inclusive, “a obscurecer o papel desempenhado pelo peixe elétrico na descoberta do novo aparato” (PANCALDI, 1990, p. 157) e, por consequência, afastar ainda mais as considerações biológicas que a teoria da eletricidade animal trazia no âmbito da querela que havia travado com Galvani.



Figura 4 – Volta apresenta a pilha para Napoleão Bonaparte, por Gaspero Martellini. Em Museo della Specola, Florença. Extraída de Fara (2009).

Além disso, o século XVIII carrega o legado, advindo do início da ciência moderna, da importância das testemunhas para a legitimação e maior confiabilidade de um conhecimento experimental (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017). Algumas das maneiras de se conseguir a multiplicação de testemunhas era facilitar a reprodução do experimento em questão e a sua realização em espaços sociais – seja para estudiosos conhecedores do conhecimento, seja para o público em geral (SHAPIN, 2013). Volta fez isso “facilitando a replicação de sua invenção e descrevendo experimentos adequados para demonstrações públicas. Ele queria o reconhecimento geral de sua descoberta de um novo tipo de eletricidade, não apenas o consentimento profissional de seus colegas cientistas” (MERTENS, 1998, p. 307).

Apesar de a ideia de que “a pilha de pares metálicos e cartões molhados simbolizava o que Volta gostava de descrever como a vitória da eletricidade metálica sobre a animal” (PANCALDI, 1990, p. 154), tenha se perpetuado pela história, ela era um símbolo. O físico

havia dito em 1797, portanto três anos antes do anúncio da bateria, que sua experiência considerada ‘decisiva’ (em que constata eletricidade metálica a partir de seu eletrômetro de condensação), era um golpe final à teoria da eletricidade animal.

Embora, principalmente para a comunidade científica da época, a pilha tenha sido um instrumento ‘revolucionário’, a controvérsia, como sobredito, não havia sido resolvida naquele momento. O sapo continuava enigmático, ainda que os estudiosos tenham se voltado, não sem razão, ao novo instrumento apresentado. Apesar do notável artigo em que Volta apresenta a sua pilha, a noção de Galvani de que as contrações musculares em sapos pertenciam a uma classe de fenômenos biológicos não podia ser extinguida (PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013; RAICIK, 2019b). Com efeito, o declínio da eletricidade animal após 1800 não deprecia sua importância (KIPNIS, 1987).

8.4 O SAPO ENIGMÁTICO, SEUS DOIS A(INI)MIGOS E ALGUMAS (POSSÍVEIS) LIÇÕES EPISTEMOLÓGICAS: IMPLICAÇÕES PARA UM ENSINO *SOBRE* CIÊNCIA

No final de um longo debate, tanto Galvani quanto Volta haviam desenvolvido um experimento considerado ‘decisivo’ para cada perspectiva teórica (RAICIK, 2019b). O anatomista havia realizado um experimento (o “quarto experimento”) em que constatava contrações no sapo a partir de substâncias exclusivamente orgânicas, unindo nervo-nervo. O físico, por sua vez, mostrava a existência de eletricidade devido ao contato de diferentes metais, com seu eletrômetro de condensação, sem utilizar um sapo ou qualquer detector fisiológico. No campo das explicações, Galvani considera o nervo e/ou o músculo como órgãos animais, e por serem eletricamente desequilibrados, a eletricidade é animal e intrínseca. Para Volta, o nervo e o músculo seriam condutores úmidos generalizados e, portanto, a eletricidade seria aquela comum a todos os corpos e o desequilíbrio provocado artificialmente pelo contato entre esses corpos (PERA, 1992).

Nesse sentido, uma das mais impactantes ‘lições’ da controvérsia entre Galvani e Volta é a de que a experimentação pode possuir distintas funções na construção de conhecimento. “A experimentação não tem apenas o papel de corroborar ou de refutar teorias em sua forma final. Ela é parte integrante e essencial do processo de construção do conhecimento, que envolve o diálogo entre as expectativas e convicções teóricas do investigador e as observações que ele realiza” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 34). A ideia de que um experimento, especificamente

definidor, pode encerrar debates na ciência, ignora os distintos papéis do experimento na ciência.

A noção de que controvérsias deveriam ser resolvidas com base em um experimento, sobretudo considerado ‘crucial’ que, imediata e inquestionavelmente, poria fim ao debate se perpetuou no período do positivismo lógico, por exemplo, e atingiu a imagem de ciência presente no ensino. Todavia, “a ideia de um experimento – experimento crucial – que, per se, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, é um mito. É bastante complexa a dinâmica entre hipótese, teoria e experimentação na ciência” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 37). A controvérsia acerca da eletricidade animal evidencia a relatividade de se atribuir a um experimento o caráter de decisório (RAICIK, 2019b).

Ambos estudiosos estavam diante de uma mesma situação. Todavia, como ressalta Hanson (1975, p. 130): “são as pessoas que vêem e não seus olhos”. Os pressupostos de cada estudioso, sua influência biográfica e psicológica, os levou a observar o mesmo sapo sob óticas distintas; uma voltada à eletrobiologia e outra à eletrofísica. Como o próprio Galvani (1841, p. 322) salienta: “Quem pode deixar de ver que ambos estamos dizendo o mesmo, embora com palavras diferentes?”.



Figura 5 – O sapo ambíguo: condensador orgânico ou eletromotor físico? Adaptada de Pera (1992).

Para além de um debate sobre estratégias ou experiências, houve um profundo conflito de suposições, de teorias (PERA, 1992). Com efeito, “a observação (científica) é seletiva: exige um objeto, um ponto de vista, um interesse especial, um problema. As observações são

intrincadas misturas de componentes empíricos e precipitados teóricos. Não há observações neutras” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 10). A ambiguidade da rã, que se adequava as duas interpretações, atesta isso.

A precisão, no sentido de adequação das teorias às experimentações e observações, era equivalente. Como ressalta Kuhn (2011), essa concordância não se refere, somente, a parte quantitativa, mas qualitativamente. Cada arcabouço teórico, nesse caso, era compatível com seus respectivos pressupostos. Nem sempre a escolha teórica pode ser feita em termos de sua exatidão. Com efeito, como a história evidencia, a “aceitação ou rejeição das teorias foi [também] ditada por fatores extra-empíricos” (PERA, 1992, p. xxv). É um conjunto de valores existentes na ciência, epistêmicos ou não, que fornece a base partilhada para a escolha de teorias; a decisão não pode ser regulada por regras universais (KUHN, 2011).

O próprio Volta, paradoxalmente, tinha por máxima que “o idioma da experiência é mais autoritário do que qualquer raciocínio: os fatos podem destruir o raciocínio e não vice-versa”. No entanto, a querela que trava com o anatomista explicita fortemente o quanto as observações são carregadas de teoria e, por consequência, evidencia a limitação da ideia de que os experimentos podem, por si, resolver querelas.

A autoridade da experiência, ou mais especificamente, da precisão é, sem dúvida, um elemento constitutivo da própria ciência. Não obstante, é necessário reconhecer que o experimento não pode atuar como um árbitro imparcial; a ciência está passível de juízos de valor. No ensino, e na visão de ciência em geral (veiculada pela mídia, divulgação científica e pelo próprio senso comum), essa discussão ainda é escassa.

[...] os cientistas evitam tratar de divergências verbais [...]. Tentam falar, muito seriamente, uma e a mesma linguagem, ainda que sejam diferentes suas línguas maternas. Nas ciências naturais isto se consegue reconhecendo a experiência como árbitro imparcial de suas controvérsias [...] (POPPER, 1987, p. 225).

Embora a citação acima tenha que ser lida com parcimônia e compreendida no âmbito da epistemologia popperiana, ela carrega uma ideia que se disseminou por um longo período na ciência e no ensino: a função descomunal do componente empírico para, por exemplo, a escolha teórica.

É possível, e desejável no âmbito de um ensino *sobre* a ciência, enfatizar que “a disputa de teorias pela hegemonia do conhecimento envolve tanto aspectos de natureza interna quanto externa à ciência; podem ser bastante complexos e sutis os mecanismos envolvidos na aceitação de um novo conhecimento” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 27). O falecimento de Galvani e, antes disso, seu afastamento da Universidade e do Instituto, foram elementos que

encaminharam o debate para o seu término. Os efeitos surpreendentes da invenção da pilha por Volta, que selaram ainda mais sua fama, também contribuíram para isso (COHEN, 1992).

A ciência é humana e “concepções filosóficas, religiosas, culturais, éticas do investigador, assim como o contexto histórico, cultural, social em que se desenvolve a ciência, influenciam o seu trabalho desde os tempos mais remotos” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 20). O envolvimento de Volta com Napoleão, assim como a (não) relação de Galvani com ele, por motivos religiosos e políticos, tiveram um peso considerável que, em balança, pendeu para um dos lados. O ensino de ciências, em geral, negligencia o contexto de descoberta, dando ênfase apenas a resultados descontextualizados, desconsiderando com isso distintos fatores que influenciam o desenvolvimento científico, a comunidade, a aceitação de um determinado conhecimento etc. Consequentemente, inexitem, praticamente, discussões acerca das relações da ciência com a política, a economia, a cultura e a sociedade. A história permite no entanto, como no caso em questão, analisar muitos dos valores subjacentes que permeiam essa atividade tão dinâmica e complexa que é desvendar e compreender a natureza.

Kuhn (2011) salienta que há um conjunto de valores na ciência que evidenciam boas razões para a escolha teórica. A falta de contextualização de valores e seus juízos, em sala de aula, pode levar o aluno a ter uma falsa impressão de que apenas valores epistêmicos, e mais especificamente a precisão, tão estimada na ciência, são decisórios na tomada de decisão. Apesar de estar “mais próximo a um critério decisivo [...] as teorias nem sempre podem ser discriminadas em termos de precisão” (KUHN, 2011, p. 342). Tanto a construção teórica de Galvani quanto a de Volta eram equivalentes no que se refere à precisão. É nesse sentido que, em termos, “os experimentos existiam em um mundo de papel e não na mesa de dissecação” (MORUS, 1993, p. 92). Isto significa, no fundo, entender que “leis e teorias científicas são elaborações/criações do intelecto humano. Não são meras sínteses indutivas do observado, do experimentado. Os dados, *per se*, não geram teorias” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 13).

Com efeito, nenhum dos dois protagonistas poderia reconhecer, plenamente, a validade da concepção do outro sem ter de renunciar a sua própria explicação. Eram lentes conceituais distintas para um mesmo fenômeno. Ao trazerem um espectro dos estudos fisiológicos dos últimos dois séculos, com ênfase no problema da contração muscular, Piccolino e Bresadola (2013) evidenciam o quanto o dilema entre Galvani e Volta era “aparente e não real” (p. 269). Isso devido ao fato de que havia uma explicação que poderia abarcar ambas as perspectivas, mas só com o desenvolvimento da eletrofisiologia isso foi possível.

O período histórico iniciado por Galvani com sua pesquisa em 1780 seria idealmente concluído com os estudos realizados na Inglaterra (na Universidade de Cambridge)

por Alan Hodgkin e seus colaboradores no período de 1934-1952. Os estudos de Hodgkin mostrariam que os sinais nervosos são um fenômeno genuinamente elétrico, devido à existência nos tecidos animais de uma forma de eletricidade em uma condição de desequilíbrio, como Galvani supôs no final do século XVIII. Ao mesmo tempo, a pesquisa de Hodgkin explicava a necessidade de outra forma de desequilíbrio elétrico, a fim de colocar a ‘eletricidade animal’ em movimento e produzir o sinal nervoso. Nas circunstâncias dos experimentos com arcos metálicos, esse desequilíbrio foi produzido pela eletricidade “metálica” de Volta (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p. 270).

Os estudos modernos da eletrofisiologia evidenciam que a teoria da eletricidade animal de Galvani não estava errada; estava parcialmente correta. Ela é precisa no que se refere à existência de uma eletricidade animal, mas não totalmente no que diz respeito ao mecanismo de excitação proposto pelo anatomista, pois, naquele momento, não se tinha o arcabouço conceitual que foi desenvolvido nos dois séculos subsequentes, que deram condições à uma explicação mais complexa. Deveras, existe uma eletricidade animal, tal como proposta pelo anatomista, que, em condições normais, encontra-se em estado de desequilíbrio e pode ser acionada tanto por mecanismos internos (biológicos), quanto externos (com o uso de metais, por exemplo). Essa eletricidade, como se constatou, está envolvida em processos fisiológicos fundamentais, como a excitação muscular e nervosa e:

[...] Corresponde aos elusivos ‘espíritos animais’ da ciência médica do período clássico [...] De alguma forma, a eletricidade animal é acumulada nos tecidos animais, como nos capacitores elétricos, e na garrafa de Leiden [...]. Em muitos aspectos, portanto, as ideias de Galvani foram corroboradas por estudos feitos depois dele, e parece apropriado considerá-lo como o real fundador da eletrofisiologia (PICCOLINO, 1998, p. 402)

No âmbito da controvérsia, portanto, não houve perdedores. Típico de controvérsias analíticas, esse embate fez emergir o que, mais tarde, seriam dois paradigmas na ciência: a eletrofisiologia e o eletromagnetismo. Embora controvérsias desse tipo possam surgir com a falta de consenso em termos teóricos, metodológicos, instrumentais etc., a estruturação de um novo conhecimento, neste caso historicamente dois, em especial, pode revelar um conjunto de compromissos de pesquisa, que abarca uma explicação empírica, mas não somente ela; pode englobar generalizações simbólicas, modelos, valores, exemplares (KUHN, 2011). Ainda assim, os estudos de Galvani, por muito tempo na história da ciência e no ensino, principalmente no âmbito da física, foram deturpados, tendo sua importância, simploriamente, limitada à condução de Volta ao desenvolvimento da pilha elétrica (PICCOLINO, 1998).

Não é incomum livros específicos de história da ciência, além de divulgação científica, deturpam os distintos aspectos históricos, epistemológicos, sociais, conceituais da controvérsia entre Galvani e Volta. Nesse sentido, muitas obras apresentam relatos de uma

pseudo-história ou de uma quase-história; uma história que, ao omitir todo um contexto histórico simplifica e desfigura um momento importante da ciência, ou a falsifica para um fim didático ou ideológico (PEDUZZI; RAICIK, 2019).

Exemplos disso são encontradas em obras diversas. Taton (1955, p. 76), historiador matemático francês, grotescamente afirma que Galvani não conseguiu explicar “corretamente” os experimentos desenvolvidos acerca das contrações musculares em rãs; apenas “Volta, físico de talento”, estava “preparado pela sua formação anterior para a interpretação racional deste fenômeno, o qual ao ir eliminando paulatinamente os fatores exteriores, conduziu finalmente à invenção da pilha”. O cientista e historiador Bernal (1964, p. 466) também não é feliz ao afirmar que “foi necessária a mentalidade mais lógica” de Volta para se compreender a corrente elétrica nos experimentos. Aqui, em paralelo é possível se pensar, à luz de uma importante consideração kuhniana: se há uma interpretação racional (ou mais lógica), o que seria irracional?. Kuhn (2006, p. 160) enfatizou que “nenhum processo essencial ao desenvolvimento científico pode ser rotulado de ‘irracional’ sem que se cometa enorme violência ao sentido do termo”. Galvani, além de estar na gênese do advento de um paradigma, a eletrofisiologia, buscou ‘questionar a natureza’, desenvolveu inúmeros experimentos devidamente dialogados com hipóteses, em um intenso processo de verificação, otimização, simplificação, variação (TRUMPLER, 1997).

Pera (1992) e Piccolino e Bresadola (2013), a título de exemplo, evidenciam todo o processo de desenvolvimento dos estudos de Galvani, com inúmeros experimentos, explorações, diálogos entre construtos teóricos e experimentações etc., até a publicação do *De viribus* e posteriormente. Estudos recentes, em que todo o contexto de pesquisa galvânica é enfatizado (RAICIK, 2019a), mostram que não se pode mais declarar, equivocadamente, que “o pobre Galvani [...] entendeu de forma completamente errada o efeito bimetálico” (BODANIS, 2008, p. 225). Ou ainda, que Volta, simplesmente “ampliando experimentos de Galvani, descobriu” (DAMPLER, 1986, p. 129) a pilha.

Por ocasião da *Celebrazione del secondo centenario della nascita di Luigi Galvani* (Celebração do segundo centenário do nascimento de Luigi Galvani), que ocorreu na XXIX Reunião da Sociedade Italiana de Física e do Congresso de Física em Bolonha, no ano de 1937, Niels Bohr declara que:

A obra imortal de Galvani, que inaugurou uma nova época em todo o campo da ciência, é uma ilustração brilhante da extrema fecundidade de uma combinação íntima da exploração das leis da natureza inanimada com o estudo das propriedades dos organismos vivos (BOHR, 1938, p. 429).

Ao concluir este discurso, espero que a temeridade de um físico se aventurar até agora fora de seu domínio restrito da ciência possa ser perdoada, em vista da oportunidade

mais bem-vinda de discussão proveitosa oferecida aos físicos e biólogos por este encontro para honrar a memória do grande pioneiro, cujas descobertas fundamentais ambos os ramos da ciência devem muito (BOHR, 1938, p. 438).

A ciência teve que esperar muito tempo, como enfatiza Piccolino (1998), “antes de ver completamente elucidada”, com a descoberta de Hodgkin, “as profundas razões do conflito entre Galvani e Volta sobre o mecanismo da excitabilidade nervosa e muscular” (p. 403). Mas depois que ela viu, não pôde mais considerar que Volta venceu sobre Galvani. A ciência triunfou com essa espetacular querela.

REFERÊNCIAS

- ALIBERT, J. L. **Éloges**: Historiques composés pour la société médicale de Paris. Paris: Crapelet, 1806.
- BERNAL, J. D. **Historia social de la ciência**, I. Barcelona: Edicions 62, 1964.
- BERNARDI, W. The controversy on animal electricity in eighteenth-century Italy: Galvani, Volta and others. In: Bevilacqua, F.; Fregonese, L. (eds), **Nuova Voltiana: Studies on Volta and his times** (pp. 101-114), 2000.
- BODANIS, D. **Universo Elétrico**: a impressionante história da eletricidade. Rio de Janeiro: Record, 2008.
- BOHR, N. Biology and atomic physics. **Nuovo Cimento**, v. 15, n. 7, p. 429-438, 1938.
- BRESADOLA, M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737-1798). **History of Neuroscience**, v. 46, n. 5, p. 367-380, 1998.
- BROWN, T. Luigi Galvani. **Dicionário de Biografias Científicas**. Rio de Janeiro, Ed.: Contraponto, 2007.
- CARRADORI, G. **Istoria del Galvanismo in Italia, o sia Della contesa fra Volta e Galvani e decisione ricavata dai fatti esposti dai due partiti del dottore Giovacchino Carradori**. Italian: 1817.
- COHEN, I. B. Foreword. In: PERA, M. **The ambiguous frog**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, p. xi-xiii, 1992.
- CORDEIRO, M. **Ciência e Valores na história da fissão nuclear**: potencialidades para a educação científica. Florianópolis: UFSC, 2016. 228 p. Tese – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- DAMPLER, W. C. **História da Ciência**. São Paulo: IBRASA, 1986.

DIBNER, B. **Luigi Galvani: An expanded version of a biography prepared for the forthcoming edition of the Encyclopaedia Britannica**. Norwalk: Burndy Library, 1971.

FARA, P. Alessandro Volta and the politics of pictures. **Endeavour**, v. 33, n. 4, 2009.

GALVANI, L. **Commentary on the effects of electricity on muscular motion**: a translation of Luigi Galvani's *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. Trad. Robert M. Green. Cambridge, MA, Elizabeth Licht, 1953.

GALVANI, L. **Opere edite ed inedite del professore Luigi Galvani**. Raccolte e pubblicate per cura dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Bologna: Dall'Olmo, 1841.

GALVANI, L. **Memorie sulla elettricità animale di Luigi Galvani P. Professore di notomia nella Università di Bologna al celebre Abate Lazzaro Spallanzani Pubblico professore nella Università di Pavia. Aggiunte alcune elettriche esperienze di Gio Aldini P. prof. di física**. Bolonha: Sassi, 1797.

HANSON, N. R. Observação e Interpretação. In: MORGENBESSER, S. (Org.) **Filosofia da Ciência**. São Paulo: Editora Cultrix, 1975.

HEILBRON, J. L. Volta, Alessandro. In: GILLISPIE, C. C. (Ed.). **Dicionário de biografias científicas** (pp. 2552-2565). Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, 1988.

HOFF, H. E. Galvani and the pre-Galvanian electrophysiologists. **Annals of Science**, v. 1, n. 2, p. 157-172, 1936.

KIPNIS, N. Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. **Science & Education**, v. 10, p. 33-49, 2001.

KIPNIS, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. **Annals of Science**, v. 44, p. 107-142, 1987.

KRAGH, H. Confusion and controversy: Nineteenth-century theories of the voltaic pile. In: BEVILACQUA, F.; FREGONESE, L. (Eds.). **Nuova voltiana: Studies in volta and his times** (pp. 133-157). Università Degli Studi di Pavia, 2000. Disponível em: <http://ppp.unipv.it/pagesIT/NuovaVoltFrame.htm>

KUHN, T. S. **A tensão essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. São Paulo: Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **O caminho desde a estrutura**. São Paulo: Livraria UNESP, 2006.

MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS, A. Scientific Controversies: An Introduction. In: MACHAMER, P.; PERA, M.; BALTAS (Ed.). **Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives**. New York: Oxford University Press, p. 3-17, 2000.

MAGNAGHI, C. P.; ASSIS, A. K. T. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes - Uma tradução comentada do artigo de Volta de 1800 descrevendo sua invenção da pilha elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 118-140, 2008.

MAURO, A. The role of the Voltaic Pile in the Galvani-Volta controversy concerning animal vs. metallic electricity. **Journal of the History of Medicine and Allied Sciences**, v. 24, n. 2, p. 140-150, 1969.

McMULLIN, E. Scientific controversy and its termination. In: ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. (Ed.). **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology** (pp. 49-92). New York: Cambridge University Press, 2003.

MERTENS, J. Shocks and Sparks: The Voltaic pile as a demonstration device. **Isis**, v. 89, p. 300-311, 1998.

MORUS, I. R. Book Reviews. **The British Journal the History of Science**, v. 26, n. 1, p. 92-93, 1993.

PANCALDI, G. Introduction. In: PANCALDI, G. **Volta: Science and Culture in the Age of Enlightenment**. Princeton University Press, 2003.

PANCALDI, G. Electricity and Life. Volta's Path to the Battery. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, v. 21, n.1, p. 123-160, 1990.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência**. Abril, 2019, 57p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PERA, M. **The ambiguous frog**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1992.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. **Shocking Frogs**. New Your: Oxford Press, 2013.

PICCOLINO, M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. **Brain Research Bulletin**, v. 46, n. 5, p. 381-407, 1998.

POPPER, K. **A sociedade aberta e seus inimigos**. Belo Horizonte: ed. Itatiaia, 1987.

RAICIK, A. C. A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal. **Aceito para publicação**, 2019a.

RAICIK, A. C. Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal. **No prelo**, 2019b.

RAICIK, A. C.; ANGOTTI, J. A. P. A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 331-349, 2019.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.1, p. 42-62, 2018.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 3, p. 192-206, 2017.

SHAPIN, S. **Nunca Pura**: Estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade e autoridade. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

SOEIRO, D. On artificial and animal electricity: Alessandro Volta vs Luigi Galvani. **Journal of Philosophy of life**, v. 3, n. 3, p. 212-237, 2013.

TATON, R. **Casualidade e acidentalidade das descobertas científicas**. São Paulo: HEMUS Editora Ltda, 1955.

TRUMPLER, M. Verification and variation: Patterns of experimentation in investigations of Galvanism in Germany, 1790-1800. **Philosophy of Science**, v. 64, p. S75-S84, 1997.

VOLTA, A. **Le Opere di Alessandro Volta**, Volume Primo, 1918. Disponível em: <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content/electricity/volta>

VOLTA, A. **Opere Scelte**, ed. M. Gliozzi. Turin: Utet, 1967.

VOLTA, A. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of diferente species. Letter to Sir Joseph Banks, March, 20, 1800. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 90, p. 403-431, 1800.

VOLTA, A. (anônimo). Transunto di osservazioni sull'elettricità animale ed alcune nuove proprietà del fluido elettrico. In: Marelli, G. (Ed.). **Opuscoli Scelti sulle scienze e sulle arti**, Tomo XV, p. 213-215, 1792.

VOLTA, A. IV. Account of some discoveries made by Mr. Galvani, of Bologna; with experiments and observations on them. In two letters from Mr. Alexander Volta, F. R. S. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to Mr. Tiberius Cavallo, F. R. S. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 83, p. 10-44, 1793. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1793.0005>

Capítulo 9

*Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos
relativos à NdC em UEPs*

9 NOS EMBALOS DA HFC: DISCUSSÕES SOBRE A EXPERIMENTAÇÃO E ASPECTOS RELATIVOS À NDC EM UEPS

At the rhythm of hfc: discussions on experimentation and aspects relating to ndc in ueps

Resumo

Este artigo apresenta um conjunto de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, para diferentes níveis de ensino, que envolvem História e Filosofia da Ciência e considerações epistemológicas da experimentação na ciência e outros aspectos relativos à Natureza da Ciência. Trata-se de um artigo teórico que salienta a importância da fundamentação epistemológica, educacional e metodológica das unidades, como um processo importante que precede a pesquisa empírica.

9.1 INTRODUÇÃO

A literatura especializada vem enfatizando, nas últimas décadas, a necessidade e proficiência da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de ciências, em distintos níveis (MOURA, 2014; FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; DAMASIO, PEDUZZI, 2017; CLOUGH; OSLOM, 2008; MARTINS, 2006; MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2007). As revisões realizadas por Teixeira, Greca e Freire (2009; 2012) evidenciam que, tanto no cenário nacional quanto estrangeiro, há um número crescente de trabalhos que se preocupam com o seu uso no ensino. As pesquisas mostram e defendem que a HFC pode apresentar potencial didático, sobretudo para o aprimoramento do senso crítico e criativo de estudantes (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011).

A História da Ciência, não passível de ser dissociada da Filosofia da Ciência, pode contribuir para a compreensão e aprendizagem significativa de conceitos e equações, tornar as aulas desafiadoras e reflexivas, instigar o interesse pela ciência, contextualizar a ciência e evidenciá-la como um processo humano, permeado por subjetividades, controvérsias, elementos sócio-culturais, promover discussões acerca de aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC) (PEDUZZI, 2011; MATTHEWS, 1995). Atualmente a educação científica visa propiciar uma compreensão de NdC compatível com reflexões filosóficas contemporâneas (PEDUZZI; RAÍCIK, 2019). Como enfatiza Moura (2014, p. 44) talvez “o desafio a ser enfrentado neste momento seja o *como* incorporar” essas discussões entre professores e alunos. Massoni (2010) aponta que mesmo aqueles docentes que tiveram uma formação adequada, em relação a visões epistemológicas contemporâneas, parecem não estar preparados para operacionalizar e gerar reflexões sobre NdC em sala de aula. É preciso desenvolver estratégias

que tornem explícitas discussões *sobre* a ciência em materiais de ensino (CLOUGH, 2007; MARTINS, 2015) para que, como enfatizam Peduzzi e Raicik (2019):

o contraste das mesmas com as concepções prévias do aluno fortaleça e incremente o consenso, quando ele existir, e corrija as distorções e limitações, quando necessário, através da argumentação ponderada que, sem impor, respeita o pensamento divergente. Neste caso, ao não se tratar o aluno como uma *tabula rasa* (folha de papel em branco), pode-se potencializar a evolução conceitual-epistemológica de suas concepções (p. 8).

Entretanto, um obstáculo que ainda persiste recai na falta de materiais pedagógicos adequados; “de nada adianta o conhecimento do conteúdo (ainda que esse conteúdo seja o histórico e filosófico) sem o conhecimento pedagógico do conteúdo” (MARTINS, 2007, p. 127). A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), desenvolvida pelo psicólogo e médico David Ausubel (1918-2008), é uma teoria cognitivista e construtivista acerca do processo de aprendizagem (AUSUBEL *et al.*, 1980; MOREIRA, 2006; MASINI, 2011; PAULO; SOUZA, 2011; VALADARES, 2011) e pode ser profícua quando alinhada a referenciais epistemológicos e metodológicos em uma pesquisa. É cognitivista, pois “descreve o que sucede quando o ser humano organiza e atribui significados à realidade em que se encontra” (MASINI, 2011, p. 18) e construtivista porque “defende que o sujeito é o elemento estruturante do seu próprio conhecimento” (VALADARES, 2011, p. 39).

A TAS, em breve descrição, argumenta que no decurso de uma aprendizagem significativa há um processo ativo, integrador e interativo entre um novo conhecimento (e seu material instrucional) e conhecimentos prévios relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz. De acordo com Ausubel, a pré-disposição em aprender e o material potencialmente significativo – e o todo que isso representa – são condições necessárias para que a aprendizagem ocorra de forma significativa.

Embora a obra de Ausubel, *The Psychology of Meaningful Verbal Learning* (Psicologia da Aprendizagem Verbal Significativa), em que propôs sua teoria pela primeira vez, tenha sido publicada em 1963, em 2000 o autor a reitera no livro *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view* (Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva), tornando evidente a sua atualidade. No âmbito nacional, sua contemporaneidade pode ser atestada, sobretudo, pelos “Encontros de Aprendizagem Significativa” (ENAS) que ocorrem regularmente desde 2005 e objetivam propiciar discussões entre pesquisadores e professores acerca de estudos fundamentados na TAS; pelo periódico “Aprendizagem Significativa em Revista” (ASR), que publica artigos empíricos e teóricos sobre aprendizagem significativa na perspectiva ausubeliana desde 2011, por inúmeros artigos em revistas na área

de ensino e ensino de ciências e pelas sucessivas edições e reedições de livros que tratam da teoria (MOREIRA; MASSONI, 2016; MOREIRA; MASSINI, 2011; PAULO; SOUZA, 2011; MOREIRA, 2013a; 2011a; 2011b; 2006; 1999; 1983).

As Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), propostas por Moreira (2011c), são sequências didáticas fundamentadas, sobretudo, na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e possibilitam o desenvolvimento de propostas didáticas e o estímulo à pesquisa aplicada, voltadas para a aprendizagem significativa e não mecânica. As unidades têm como objetivo facilitar a aprendizagem significativa de tópicos, ideias, conceitos específicos, a partir do cerne filosófico de que só há ensino quando há aprendizagem, e esta aprendizagem, imprescindivelmente, deve ser significativa. As UEPS podem ser vistas, portanto, como um instrumento didático e um fomentador de materiais potencialmente significativos.

Este artigo apresenta um conjunto de unidades de ensino potencialmente significativas ancoradas nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) à luz da historiografia contemporânea. Esse aporte teórico vai ao encontro da defesa de Moreira (2004) de que pesquisar “é produzir conhecimento dentro de um marco teórico [educacional], epistemológico e metodológico” (p. 10). As UEPS, desenvolvidas tanto para pesquisadores em formação, quanto para estudantes e professores em formação inicial e continuada, pretendem, em particular, subsidiar propostas didáticas que visem debater considerações epistemológicas acerca da experimentação na ciência e aspectos relativos à Natureza da Ciência, implícita ou explicitamente relacionados com o componente empírico na construção de conhecimentos.

9.2 PRINCÍPIOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM REFERENCIAL EDUCACIONAL

Na epígrafe de seu livro “Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva”, Ausubel (2003) destaca que

O conhecimento é significativo por definição. É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (“saber”) que envolve a interação entre ideias “logicamente” (culturalmente) significativas, ideias anteriores (“ancoradas”) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos.

Quer dizer, a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual um novo conhecimento se relaciona de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária à estrutura

cognitiva do sujeito. A aprendizagem é substantiva, pois é a “substância” ou o “recheio” de um conceito que é apreendido (VALADARES, 2011). Isto é, o que se incorpora na estrutura cognitiva do sujeito não são “os signos precisos usados” para expressar o novo conhecimento, pura e simplesmente. “(...) O que é aprendido de maneira significativa tem também significados pessoais, idiossincráticos” (PAULO; SOUZA, 2011, p. 18). Além disso, é não arbitrária (não aleatória), pois há interação entre um novo conhecimento e um já existente na estrutura cognitiva; não qualquer ideia prévia, mas algum conhecimento especificamente relevante para assimilar o conhecimento a aprender (AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASSINI; 2011). Esse é “um processo ativo, que exige ação e reflexão do aprendiz e que é facilitado pela organização cuidadosa das matérias e experiências de ensino” (TEODORO, 2000, p. ix).

Esse conhecimento específico, já existente na estrutura do sujeito, e que permite dar significado a um novo conhecimento, por interação substantiva e não-arbitrária, recebe o nome de *subsunçor* ou ideias-âncora. A aprendizagem significativa envolve, portanto, uma interação seletiva entre o novo material de aprendizagem e os subsunçores existentes, que podem englobar não necessariamente apenas conceitos, mas concepções, proposições, representações etc. Ou seja, à medida em que subsunçores estejam desenvolvidos, claros e disponíveis, eles funcionam como ponto de ancoragem para novos conhecimentos (MOREIRA; MASINI, 2001). “Os subsunçores podem ter maior ou menor estabilidade cognitiva, podem estar mais ou menos diferenciados, ou seja, mais ou menos elaborados em termos de significados” (MOREIRA, 2011a, p. 14).

Uma concepção limitada da ciência, por exemplo aquela que simplifica a experimentação, atribuindo-lhe o papel de simplesmente corroborar (ou refutar) teorias, pode servir de ancoradouro para novas informações sobre as distintas funções da experimentação na ciência. Não obstante, nesse processo há uma alteração “quer das informações recentemente adquiridas, quer do aspecto especificamente relevante [subsunçor] da estrutura cognitiva, à qual estão ligadas as novas informações” (AUSUBEL, 2003, p. 3). Desta forma, os novos conhecimentos adquirem um significado para o sujeito, ao passo que os subsunçores também são modificados; eles podem adquirir novos significados ou corroborar os já existentes. Uma discussão histórico-filosófica, por exemplo, acerca da experimentação na ciência, fazendo um contraponto entre seu entendimento no início da ciência moderna (essencialmente empírico indutivista) e na contemporaneidade, (a partir de considerações da nova filosofia da ciência) pode contribuir para que a ideia limitada desse componente para o desenvolvimento científico tome novos significados. Nesta perspectiva, e à medida que novas concepções acerca da

experimentação são aprendidas de forma significativa, isso pode resultar na modificação do subsunçor inicial e no desenvolvimento de subsunçores mais elaborados, mais inclusivos e mais capazes de servirem de ponte para novas concepções, como por exemplo para questionar a ideia de experimento crucial, entender o conceito de experimentação exploratória, reconhecer o diálogo entre hipótese e teoria etc. Em um processo de aprendizagem significativa, “progressivamente, o subsunçor vai ficando mais estável, mais diferenciado, mais rico em significados, podendo cada vez mais facilitar novas aprendizagens” (MOREIRA, 2011a, p. 15).

Para os casos em que o aprendiz não possui subsunçores adequados, Ausubel (2003) propõe o uso de um mecanismo pedagógico: os *organizadores prévios*. Esse recurso apresenta “um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão do que os novos materiais a serem aprendidos” (p. 11) e tem por principal função “preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com que se defronta” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 144). Diferentemente de um resumo, que normalmente tem o mesmo nível de abstração do próprio material a ser aprendido, um organizador prévio pode ser:

[...] um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este (MOREIRA, 2011a, p. 30).

Os organizadores podem ser de duas naturezas: expositivos e comparativos. Os primeiros visam suprir a falta de subsunçores relevantes no caso de um material não familiar, por meio de uma ancoragem ideacional em termos do que já é familiar ao aprendiz. Os organizadores comparativos podem aumentar a discriminabilidade entre os novos conhecimentos e os subsunçores similares ou conflitantes já existentes na estrutura cognitiva do sujeito quando o material é relativamente familiar; isto é, podem clarificar “de modo explícito semelhanças e diferenças entre os dois conjuntos de ideias” (AUSUBEL, 2003, p. 12). Uma leitura inicial, por exemplo, apresentando um contraponto e possíveis similaridades entre uma visão tradicional baconiana de experimentação (muito semelhante àquela intuitiva de estudantes) e uma contemporânea, pode servir como um organizador prévio comparativo. Ou ainda, antes de se iniciar uma discussão mais específica acerca da relatividade de se atribuir a um experimento o caráter crucial, pode-se apresentar um texto, devidamente contextualizado historicamente, sobre o famoso *experimentum crucis* de Isaac Newton, etc.

Para Ausubel (2003), o fator mais importante para a aprendizagem significativa são os conhecimentos prévios do aprendiz; a sua estrutura cognitiva prévia. Nesse caso, “é através do fortalecimento de aspectos relevantes da estrutura cognitiva que se pode facilitar a nova aprendizagem” (p. 10). Isso pode ser conseguido: de forma *substantiva*, por meio de conceitos e proposições unificadores do conteúdo da matéria de ensino, que apresentam caráter inclusivo, poder explicatório, propriedade integradora; e de forma *programática*, através de princípios apropriados na ordenação da sequência da matéria de ensino, na sua disposição lógica e organização interna. No que se refere aos princípios da organização programática, cita-se a *diferenciação progressiva*, a *reconciliação integrativa*, a *organização sequencial* e a *consolidação*. Cabe destacar que os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa podem ser considerados tanto na organização de ensino como no âmbito da dinâmica da estrutura cognitiva (PAULO; SOUZA; 2011).

A *diferenciação progressiva* é um princípio que reconhece que há uma hierarquização, em termos de abstração, generalidade e inclusão, no processo de aprendizagem (AUSUBEL, 2003). Em síntese, ela sugere que conceitos, ideias, proposições, mais gerais e inclusivos, sejam apresentados primeiro para que possam, progressivamente – ao passo que adquirem novos significados – ficar mais específicos, diferenciados (MOREIRA, 2011a). Isso baseando-se nas concepções de que:

(1) É menos difícil para os seres humanos compreender os aspectos diferenciados de um todo previamente aprendido, mais inclusivo [...]. (2) Num indivíduo, a organização do conteúdo de uma disciplina particular consiste em uma estrutura hierárquica na sua própria mente. As ideias mais inclusivas ocupam uma posição no topo desta estrutura e abrangem proposições, conceitos e dados factuais progressivamente menos inclusivos e mais diferenciados (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 159).

A *reconciliação integrativa* indica que os conceitos, as ideias, as proposições apresentadas sejam revisitadas explicitamente ao se explorar, por exemplo, suas relações de similaridade e diferença com aqueles subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito (AUSUBEL, 2003). É um processo de “vai e vem” entre ideias mais gerais e inclusivas às mais específicas.

O processo instrutivo, segundo uma abordagem ausubeliana, não é, como pode parecer à primeira vista, exclusivamente unidirecional, ‘de cima para baixo’, ou ‘do geral para o particular’. É verdade que se propõe começar com o ‘geral’ e, progressivamente, chegar ao ‘particular’, mas é verdade também que se deve fazer constantes referências ao ‘geral’ para não perder a visão do todo e para elaborar cada vez mais o ‘geral’. Ao fazer isso, está-se simultaneamente a promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (MOREIRA, 1999, p. 52).

Os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa são, portanto, concomitantes e permitem uma organização hierárquica na estrutura cognitiva de quem aprende.

O princípio da *organização sequencial* considera que é possível maximizar o processo de aprendizagem significativa ao fazer-se uso de ideias âncoras para a instrução e sequência de tópicos ou componentes de uma disciplina, à luz da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Isto é, uma unidade de ensino pensada de modo que determinados tópicos dependam naturalmente dos que o antecederam (MOREIRA, 2011a).

A *consolidação* é um princípio que assinala a importância do que está sendo estudado estar consolidado, antes se de iniciar a introdução de novos conhecimentos. Com efeito, se o conhecimento prévio é o que mais influencia a aprendizagem, na perspectiva de Ausubel, é coerente e esperado que este princípio seja igualmente relevante e fundamental. Clarificação, prática diferencial, exercícios, revisão, podem contribuir para esse processo.

Em síntese, a TAS admite que duas condições precisam ser satisfeitas para que a aprendizagem seja significativa. Um dos requisitos é que o aprendiz manifeste uma *pré-disposição* em aprender. A segunda premissa refere-se ao *material*, que deve ser potencialmente significativo, isto é: i) requer que o material de ensino se relacione de forma não-arbitrária e não-literal à estrutura cognitiva do sujeito e, portanto ii) demanda que existam *subsunçores relevantes* na estrutura cognitiva do aprendiz para que as novas ideias do material sejam ancoradas.

Quer dizer, um material potencialmente significativo, além de envolver a condição da existência de conceitos subsunçores específicos da estrutura cognitiva do sujeito, “deve ser logicamente significativo, ou seja, ser suficientemente não-arbitrário e não aleatório, de modo que possa ser relacionado, de forma substantiva e não-arbitrária, a ideias, correspondentemente relevantes, que se situem dentro do domínio da capacidade humana de aprender” (JORGE; SOUSA, 2011, p. 29).

A arte e a ciência de apresentação de ideias e de informações de modo significativo e eficaz – de forma a surgirem significados claros, estáveis e não ambíguos e a existir uma retenção durante um período de tempo considerável, como um conjunto de conhecimentos organizados – é, na verdade, a principal função da pedagogia. Esta é uma tarefa exigente e criativa e não rotineira nem mecânica. A tarefa de seleção, organização, apresentação e tradução do conteúdo das matérias, de uma forma apropriada em termos de desenvolvimento, exige mais do que uma simples listagem de factos. Caso seja feita corretamente, trata-se do trabalho de um professor capacitado e dificilmente se pode desdenhar (AUSUBEL, 2003, p. 52).

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) propostas por Moreira (2011c), podem auxiliar no desenvolvimento de materiais potencialmente significativos – indispensáveis, como sobredito, em um processo que visa uma aprendizagem significativa – uma vez que elas são fundamentadas, sobretudo, na teoria de Ausubel e objetivam promover uma aprendizagem desse tipo.

9.3 UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS: UM REFERENCIAL METODOLÓGICO

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são unidades de ensino fundamentadas teoricamente, essencialmente na TAS, dirigidas para uma aprendizagem significativa e não mecânica (MOREIRA, 2011c). Reside em sua fundamentação⁹¹, que embora esteja baseada sobretudo na teoria de Ausubel não se limita a esta, seu maior potencial de êxito na facilitação da aprendizagem. Aliás, elas podem ser utilizadas como aspecto metodológico da TAS (DAMASIO, 2017).

Essas Unidades levam em consideração os principais pressupostos ausubelianos, a saber, o conhecimento prévio do aluno, os organizadores prévios, os princípios de diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial, consolidação. Além disso, situações-problema, negociação e captação de significados, busca de evidências de aprendizagem em uma perspectiva de progressividade e complexidade são também norteadores dessas unidades (MOREIRA, 2011c; 2013b).

Em outras palavras, isso significa que no desenvolvimento (e possível implementação) das UEPS é importante, em síntese, que se: i) reconheça a relevância dos conhecimentos prévios daquele que aprende como a variável que mais influencia a aprendizagem; ii) leve em conta que aquele que aprende integra pensamentos, sentimentos e ações e que isso é construtivo no processo de aprendizagem significativa que demanda, como uma das condições essenciais, a pré-disposição em aprender, isto é, o aluno decide se quer ou não aprender de forma significativa; iii) estime e valorize os organizadores prévios que podem servir de ponte entre os conhecimentos prévios do estudante e novos conhecimentos; iv) considere as situações-problemas que, além de propiciarem sentido aos novos conhecimentos, podem servir de

⁹¹Moreira (2011c) enfatiza que além da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e, inclusive, de sua Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (MOREIRA, 2005), as UEPS fundamentam-se na teoria de educação de Novak e Gowin, do interacionismo social de Vygotsky, dos campos conceituais de Vergnaud e dos modelos mentais de JohnsonLaird.

organizadores prévios e devem ser sugeridas em nível crescente de complexidade; v) respeite os princípios da diferenciação progressiva, reconciliação integrativa e consolidação na organização de ensino; vi) entenda que a avaliação da aprendizagem significativa é progressiva e exige a busca de evidências; vii) admita que o professor tem um papel fundamental de propor, devidamente, situações-problemas, organizar a sequência de ensino, mediar a captação de significados por aquele que aprende; viii) concorde que o ensino deve ser dialógico e interativo; ix) assume que o ensinar envolve uma relação entre aluno, professor e material instrucional; x) conceba que a aprendizagem não deve ser mecânica; xi) busque o questionamento e repostas que não estejam amparadas na memorização a partir da diversidade de materiais e estratégias instrucionais (MOREIRA, 2011c; 2013b).

Além de princípios norteadores (condensados acima), Moreira (2011c; 2013b) apresenta aspectos sequenciais – não prescritivos, mas guiadores – para a elaboração de UEPS que facilitam a incorporação e melhor proveito dessas asserções amparadas teoricamente. O primeiro passo refere-se à escolha do tópico a ser abordado na Unidade, isto é, que conceitos serão discutidos e, por consequência, seu objetivo. Posteriormente, propõe-se circunstâncias que permitam aos alunos externalizar seus conhecimentos prévios que, em princípio, podem ser relevantes para a aprendizagem significativa daquilo que se deseja discutir. Isso pode ser conseguido por meio de discussões orais, um questionário, etc. A seguir, sugere-se uma situação-problema, que pode servir como um organizador prévio (comparativo à luz dos conhecimentos prévios já existentes), que deve ser trabalhada em um nível introdutório. As possibilidades, assim como na etapa anterior, são diversas, de demonstrações e simulações computacionais, a vídeos e questões, mapas mentais⁹², desde que respeitem a ideia de que deve ser problematizador, acessível ao aluno, que prepare o campo para as próximas intervenções e, com efeito, se distancie dos exercícios e práticas corriqueiras de apenas reprodução.

Em seguida, o conhecimento a ser aprendido passa a ser apresentado levando em conta a diferenciação progressiva. Ou seja, começa-se trabalhando o conteúdo de forma mais geral e inclusiva, dando uma visão do todo, para, posteriormente, exemplificar e abordar aspectos mais específicos. Atividades colaborativas, em grande grupo, podem ser proveitosas, inclusive, nesse momento. Torna-se relevante, retomar os aspectos mais gerais, contudo agora em nível mais alto de complexidade em relação à discussão anterior. Novas situações-problema podem ser

⁹² Mapas mentais são associações livres entre ideias, palavras-chave, por meio de ramificações que ligam tópicos menos importantes àqueles de mais alto nível (MOREIRA; MASSONI, 2016). Diferentemente de mapas conceituais (ver Moreira, 2012), mapas mentais não objetivam estabelecer relações entre conceitos, incluem ideias gerais e não são organizados hierarquicamente.

propostas, em nível crescente de complexidade. Respeitando o princípio de reconciliação integrativa, pode-se apresentar exemplos distintos dos anteriores, destacar semelhanças e diferenças entre aquilo que já foi trabalho em maior nível de inclusão e o que agora é proposto de forma mais específica. Atividades colaborativas, tendo o professor como mediador, com a negociação de significados, podem ser novamente viabilizadas, através de mapas conceituais, diagrama V⁹³, experimentos etc.

Constituindo-se processos simultâneos, pode-se fomentar a diferenciação progressiva, buscando a reconciliação integrativa, a fim de concluir a unidade. Isso pode ser alcançado com a leitura de texto, exposição oral, uso de videoaulas/vídeos etc. Situações-problemas podem ser sugeridas com níveis cada vez mais altos de complexidade. Por certo, é ao longo do desenvolvimento da UEPS que a avaliação da aprendizagem é feita, com registros, por exemplo. Não obstante, uma avaliação somativa individual ao final, com questões, situações, problematizações distintas das que foram trabalhadas ao longo da unidade, pode evidenciar, igualmente, indícios de aprendizagem significativa. Ademais, alcança-se êxito se as avaliações fornecerem indícios de aprendizagem significativa, isto é, demonstrarem a capacidade dos alunos em captação de significados, compreensão do conteúdo, capacidade de explicar e aplicar o conhecimento em situações-problema etc.

Em cada um dos possíveis passos, os materiais, assim como as estratégias de ensino empregadas pelo professor, devem ser diversificados. No processo prático, deve-se privilegiar o questionamento, o diálogo, a crítica e, conseqüentemente, reflexões sobre o tema abordado. Não obstante, é importante ressaltar que cabe ao professor adaptar cada UEPS ao seu contexto, sem menosprezar, é claro, as concepções primordiais que as orientam. Isto é, embora sejam passos sequenciais para um melhor proveito dos princípios mencionados, eles não são engessados, mas abertos a adequações e considerações contextuais.

9.4 HFC E NdC EM UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS

As unidades didáticas desenvolvidas e apresentadas neste artigo, estão ancoradas nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) à luz da historiografia contemporânea. Elas visam possibilitar

⁹³ O diagrama V, também conhecido como V epistemológico, V de Gowin, é um instrumento heurístico que tem a forma de um 'v', proposto para análise do processo de produção de conhecimento. Nesse sentido, é uma ferramenta ou estratégia facilitadora da aprendizagem significativa (ver Moreira, 2011).

intervenções didáticas que podem contribuir tanto como estratégias para uma mudança na visão epistemológica (limitada) corrente entre professores de ciências e pesquisadores em formação acerca da experimentação e de alguns aspectos relativos à Natureza da Ciência, e influenciar suas práticas docentes, quanto de estudantes em formação (em nível básico ou superior).

Nesse sentido, a UEPS **“A rã e suas histórias: a gênese e o desenrolar de uma controvérsia”**, é desenvolvida, essencialmente, para pesquisadores em formação. Ela comporta considerações epistemológicas acerca da experimentação e aspectos relativos à Natureza da Ciência na controvérsia entre Luigi Galvani e Alessandro Volta acerca da eletricidade animal. Como ressaltam Peduzzi e Raicik (2019, p. 46) – e face ao nível de discussão proposto na unidade – “a atualidade e relevância de discussões sobre a natureza da ciência no cenário da pesquisa nacional e internacional torna desejável a sua abordagem em disciplinas de pós-graduação”, tal como se propõe a unidade.

O estudo desse caso histórico⁹⁴, abordado nos artigos *A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal* (RAICIK, 2019), *Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal* (RAICIK, submetido(a) à publicação), *O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo* (RAICIK, submetido(b) à publicação), viabilizou o desenvolvimento de outras UEPS que discutem distintos aspectos relativos à Natureza da Ciência associados, explícita ou implicitamente, a considerações epistemológicas sobre a experimentação.

Assim, a UEPS **“Luigi Galvani e a coreografia das rãs: experimentos exploratórios na ciência”** é endereçada, basicamente, a alunos da licenciatura e bacharelado em física e visa, sobretudo, discutir o conceito de experimentação exploratória a partir dos estudos de Galvani. Na UEPS **“Valores na aceitação de um novo conhecimento: a a(ini)mizade entre um sapo, um físico e um anatomista”**, voltada principalmente para professores de nível médio (aqueles que participam de eventos, como o SNEF, o EEFIS-RG, por exemplo, que visam atingir esse público, inclusive, e os que integram, também, o MNPEF), aborda-se alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento, a partir do término da controvérsia entre Galvani e Volta. Já a UEPS **“Nos encantos da história, vamos descobrir que relação pode ter entre um sapo e uma garrafa de Leiden?”** é destinada, em especial, a alunos do ensino médio e discute a não neutralidade das observações.

⁹⁴ O objeto da tese de doutorado da autora deste trabalho.

Por último, a UEPS “O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores” emerge a partir da análise contextual do século XVIII, uma época de consolidação e de unificação da concepção baconiana-newtoniana. Em seus estudos ópticos, Newton chama um de seus experimentos de crucial, e, “a famosa frase, *experimentum crucis*, tornou-se quase sinônimo de teoria newtoniana” (WESTFALL, 1962, p. 354). Efetivamente, é o Newton da “Óptica”, e não o da mecânica, que vai influenciar metodologicamente os estudos da eletricidade. As raízes de Galvani e Volta, com efeito, encontram-se persuadidas por essa identidade de prática científica. Dirigida fundamentalmente a professores e cientistas em formação, a UEPS objetiva discutir o conceito de experimento crucial a partir de um dos emblemáticos experimentos newtonianos.

Importa salientar que estas unidades e seus respectivos materiais encontram-se disponíveis no site <https://anabelraicik.wixsite.com/ueps> como uma forma de permitir que professores e pesquisadores interessados possam ter acesso a elas; e de, possivelmente, as utilizarem e adaptarem aos seus contextos de ensino.

9.4.1 UEPS 1 - A rã e suas histórias: a gênese e o desenrolar de uma controvérsia

Esta UEPS visa trazer uma incursão aprofundada da controvérsia entre Luigi Galvani e Alessandro Volta, acerca da eletricidade animal. Mediante uma análise histórico-epistemológica, discute os distintos experimentos desenvolvidos por ambos os estudiosos e os seus papéis nesse episódio histórico. Para isso, retoma concepções de Francis Bacon acerca da experimentação na ciência – tanto presentes em sua obra máxima, o *Novum Organum*, quanto relativas ao seu conceito de *experientia literata* – e apresenta contrapontos com a concepção contemporânea de experimentação exploratória na perspectiva do físico e historiador da ciência Friedrich Steinle. Além disso, explora os diferentes significados atribuídos ao experimento crucial, tanto por ‘cientistas’ quanto por filósofos da ciência como Imre Lakatos, Karl Popper e Pierre Duhem. Tendo em vista o princípio de diferenciação progressiva, discute de que forma livros de divulgação científica apresentam a ilustração do *experimentum crucis* de Newton. Isto é, após a introdução do assunto em nível mais geral e inclusivo, abordando uma visão geral da experimentação no início da ciência moderna em contraponto com uma noção contemporânea e progressivamente diferenciada em termos da ideia de experimento crucial, aborda um exemplo, distinto daquele foco da UEPS, com aspectos específicos a serem analisados e sua relação com o ensino de ciências. Posteriormente, contextualiza definições, origens e

classificações de controvérsias científicas, como as analíticas, as resistivas e as argumentativas, a fim de resgatar os aspectos gerais e estruturantes da unidade em nível mais alto de complexidade. Discute, ainda, valores presentes na escolha teórica à luz de concepções de Thomas Kuhn e uma classificação de Ernan McMullin envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias na ciência. Visando promover uma reconciliação integradora, apresenta e analisa a controvérsia entre Galvani e Volta – desde os estudos iniciais de Galvani à publicação da pilha por Volta. Nesse sentido, explora relações entre o episódio histórico e os conceitos e proposições trabalhados anteriormente: *experientia literata*, experimentação exploratória, experimento crucial, controvérsia científica, valores na escolha teórica, término de debates.

UEPS 1

Título: A rã e suas histórias: a gênese e o desenrolar de uma controvérsia

Objetivo geral: Discutir os possíveis papéis do experimento na controvérsia entre Galvani e Volta acerca da eletricidade animal e aspectos relativos à Natureza da Ciência entre pesquisadores em formação.

Conceitos centrais: *Experientia literata*; experimentação exploratória; experimento crucial; controvérsia científica; valores na escolha teórica; término de debates.

Público-alvo: Pesquisadores em formação (mestrandos e doutorandos).

Disciplina: Uma disciplina eletiva em um Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica ou similar.

Duração: Um semestre (aproximadamente 10 aulas de 4h)

Constituintes da UEPS: A UEPS “A rã e suas histórias: a gênese e o desenrolar de uma controvérsia” é constituída por oito artigos, um texto, três trechos de vídeos/documentários, uma animação, um quadro comparativo, uma avaliação somativa, além de atividades colaborativas.

O artigo “Experimentos exploratórios e *experientia literata*: (re)pensando a experimentação” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018a), resgata a filosofia experimental de Francis Bacon, presente no *Novum Organum*, e apresenta seu conceito de experimentação instruída, que ele discute em *Of the Dignity and Advancement of Learning*. Explicita, também, contrapontos entre algumas concepções baconianas e a ideia de experimentação exploratória na perspectiva de Friedrich Steinle.

O artigo “Da *instantia crucis* ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017a) retoma a definição de Bacon de *instantia crucis* e discute algumas concepções de experimento crucial, tanto por filósofos quanto por estudiosos como Newton.

O artigo “Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017b) analisa a contextualização dos estudos de Newton sobre luz e cores, sobretudo a veiculação de seu *experimentum crucis* em livros de divulgação científica.

O artigo “A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018b) contextualiza definições de controvérsias científicas, suas principais origens e possíveis classificações. Além disso, propõe e exemplifica três tipos de controvérsias: as analíticas, as resistivas e as argumentativas.

O artigo “A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas” (RAICIK; ANGOTTI, 2019) discute concepções de Kuhn sobre valores na escolha teórica e uma classificação de McMullin envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias na ciência.

O artigo “A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal” (RAICIK, 2019) aborda os estudos iniciais de Galvani desenvolvendo vínculos com a *experientia literata* de Bacon e a experimentação exploratória de Steinle.

O artigo “Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal” (RAICIK, submetido(a)) trata da controvérsia entre Galvani e Volta. Nesse sentido, discute alguns experimentos desenvolvidos por eles, considerados exploratórios, ressalta aspectos relativos à NdC no episódio e discorre em que sentido alguns experimentos podem, em princípio, ser considerados cruciais no debate que travam.

O artigo “O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo” (RAICIK, submetido(b)) discorre sobre como se deu o término da controvérsia entre Galvani e Volta à luz da classificação de McMullin e discute alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento a partir de considerações kuhnianas, como o que surge com a divulgação da pilha por Volta.

Cabe ressaltar que todos os artigos trazem implicações de suas discussões para o ensino de ciências.

O texto “Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência” (PEDUZZI; RAICIK, 2019) apresenta uma série de 18 asserções comentadas sobre a natureza da ciência que explicitam entre si sobreposições e convergências, assim como divergências, como uma alternativa potencialmente útil para a abordagem de vários aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no ensino.

O trecho do documentário “Os seis experimentos que mudaram o mundo – Newton e o prisma” (NATIONAL GEOGRAPHIC, 1999) apresenta o experimento crucial com uma visão de experimentação bastante questionável.

O trecho do vídeo “Era uma vez: os inventores – Faraday e a eletricidade” (BARILLÉ, 1994), apresenta a observação casual da contração de um sapo fazendo alusão à anedota da ‘sopa de rã’. O vídeo evidencia, equivocadamente, que Galvani logo apresentou sua ‘descoberta’ a Volta e este, em seguida, descobre a pilha.

O trecho do documentário “Shock and Awe: The Story of Electricity” (BBC, 2011) salienta a rivalidade pessoal e acadêmica entre Galvani e Volta. Enfatiza aspectos considerados mais externalistas à ciência, envolvendo esses dois estudiosos.

A animação “O sapo no poço” (TVEscola, 2009), sem falas, expõe um sapo filósofo e sonhador. “Em um mundo muito pequeno, no fundo de um poço, vive um sapo solitário. Em seus devaneios, enquanto pula de rocha em rocha, o sapo sonha com o universo lá fora e se pergunta se um dia chegará a vê-lo. Quando as nuvens se vão, e o sol aparece, um lindo reflexo surge na água no fundo do poço. É então que o Sr. Sapo reúne todas as suas forças para dar o

pulo mais alto de sua vida! E assim, com um salto fantástico, o pequeno sonhador pode vislumbrar tudo o que o cerca” (TVEscola).

O quadro comparativo consiste na apresentação sistêmica das semelhanças entre a *experientia literata* e a experimentação exploratória.

A avaliação escrita, dissertativa e individual, compreende as seguintes questões: 1. Desenvolva um artigo (ou texto similar), em termos epistemológicos e/ou histórico-epistemológico, acerca de um ou mais conceitos centrais discutidos na UEPS. Em relação aos elementos da UEPS, materiais e estratégias de ensino utilizadas, que comentários e sugestões você teria quanto: a) a dinâmica em sala de aula; b) as atividades colaborativas; c) ao texto e aos artigos; d) aos vídeos/documentários; e) ao quadro comparativo.

Sequência didática

Aula 1

Situação-inicial

A fim de estabelecer uma situação-inicial, propõe-se o questionamento, aos pesquisadores em formação, sobre os seus conhecimentos e/ou envolvimento com as discussões acerca da natureza da ciência, que nos últimos anos têm sido promovidas pela área de ensino de ciências. Essa situação visa levantar os principais pontos destacados pelos sujeitos; que asserções sobre NdC foram mais apresentadas para direcionar a introdução do tema. Espera-se que eles situem a neutralidade das observações, o papel do experimento na ciência, a questão de não haver um método científico único etc.

Situação-problema inicial

Promove-se, com a situação-problema inicial, reflexões em torno de perguntas como: Que papéis o experimento pode assumir na ciência? Há experimentos cruciais? Em que sentido se atribui a um experimento o caráter de crucial? Que relação o experimento assume em controvérsias científicas? Que função pode ter o componente empírico no âmbito de escolhas teóricas? A seguir, a partir de uma discussão expositiva-dialogada, debate-se algumas asserções sobre a natureza da ciência, com base no texto de Peduzzi e Raicik (2019). O professor pode projetar em *slides*, por exemplo, as ideias centrais de cada uma das 18 asserções, para promover essa discussão. Esta etapa, que serve como um organizador prévio expositivo, objetiva uma intensa troca de ideias em torno de questões epistemológicas envolvendo a experimentação, a seletividade das observações, as controvérsias científicas, os valores na escolha teórica etc, em alto nível de abstração e introdução.

Para a próxima aula, solicita-se que os estudantes leiam o artigo “Experimentos exploratórios e *experientia literata*: (re)pensando a experimentação” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018a), disponibilizado virtualmente aos mesmos.

Aula 2

Aprofundamento do tema – parte 1

A discussão, em grande grupo, do artigo de Raicik, Peduzzi e Angotti (2018a) tenciona introduzir considerações epistemológicas acerca da experimentação em nível de maior abstração e inclusividade. Para isso, retoma-se a concepção de ‘método experimental’ de Francis Bacon, apresentada no *Novum Organum*, que se disseminou ao longo do período da ciência moderna e está atrelada, fortemente, à ideia comum empírico-indutivista. Não obstante, Bacon tratou de outro conceito, ainda pouco discutido e analisado no ensino de ciências, o de *experientia literata*, que se aproxima em parte – e respeitada as distintas posturas

epistemológicas – a uma visão contemporânea de experimentação. Em seguida, no intuito de diferenciar progressivamente considerações em torno da experimentação na ciência, examina-se o conceito de experimentação exploratória, na perspectiva do físico e historiador Friedrich Steinle. Buscando uma reconciliação inicial, relativa especificamente aos conceitos tratados no texto, debate-se contrapontos entre a experimentação exploratória e a *experientia literata*.

Situação-problema em nível mais alto de complexidade

Em pequenos grupos, que tem por intuito uma troca de significados entre os estudantes, sob mediação docente, solicita-se que os alunos desenvolvam mapas mentais entre os conceitos de experimentação discutidos. Os mapas devem ser entregues para que o professor faça uma análise preliminar para a próxima aula.

O artigo “Da *instantia crucis* ao experimento crucial, diferentes perspectivas na filosofia e na ciência” (RAIČIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017a), de acesso virtual aos estudantes, deve ser lido previamente, em casa, para a próxima aula.

Aula 3

Aprofundamento do tema – parte 2

Em um processo de diferenciação progressiva, introduz-se considerações em torno da experimentação em nível mais alto de complexidade e especificidade. Para isso, resgata-se os mapas mentais desenvolvidos na aula anterior, entregando-os aos estudantes, e o professor expõe um quadro comparativo entre a *experientia literata* e a experimentação exploratória, em uma etapa de revisão. No momento de discussão do quadro comparativo, os alunos podem tecer considerações entre seus mapas mentais e o quadro.

Em seguida, discute-se o artigo de Raicik, Peduzzi e Angotti (2017a), que resgata a definição baconiana de *instantia crucis* e apresenta o entendimento de alguns filósofos e estudiosos sobre a ideia de experimento crucial. A influência de Bacon no final do século XVII, e posteriormente, é notória na ciência. De acordo com Ian Hacking, o conceito de ‘experimento crucial’ foi uma de suas contribuições mais relevantes. Não obstante, ela foi sendo modificada por estudiosos e filósofos. Nesse sentido, apresenta-se e discute-se, brevemente e como exemplificação, o uso do termo *experimentum crucis* por Newton em seus estudos sobre luz e cores. Em seguida, a fim de ir diferenciando cada vez mais o conceito, debate-se, em processo dialógico-expositivo, sobre a noção de Duhem, Popper e Lakatos; preconizando uma reconciliação integradora, no que se refere ao conceito de experimento crucial, apresentando diferenças com a ideia baconiana. Implicações para o ensino de ciências são, então, enfatizadas.

Para a próxima aula, solicita-se que os alunos leiam, previamente em casa, o artigo “Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica” (RAIČIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017b) e tragam para aula materiais (livros didáticos, de divulgação científica, reportagens, revistas etc.) que tratam, em algum nível, de experimentos cruciais na ciência para uma atividade em grande grupo.

Aula 4

Nova situação-problema

Exibe-se e examina-se, em grande grupo, um trecho do documentário “Os seis experimentos que mudaram o mundo – Newton e o prisma” (NATIONAL GEOGRAPHIC, 1999), como uma nova situação-problema. Além de retomar o exemplo da aula anterior, este curto vídeo propicia a discussão do papel do experimento apresentado no vídeo e sua relação com o ‘método científico’, já abordado em termos baconianos na primeira aula. Desta forma, atua como uma espécie de organizador prévio comparativo que permite revisar aspectos mais

gerais tratados anteriormente, como o da experimentação em si, e discutir especificamente o experimento crucial apresentado por Newton.

Aprofundamento do tema – parte 2: continuação

A partir da nova situação-problema, discute-se, em grande grupo, o artigo de Raicik, Peduzzi e Angotti (2017b) em que se diferencia em maior nível de complexidade o conceito de experimento crucial ao se reconciliar integrativamente a contextualização da ilustração do experimentum crucis de Newton em materiais de divulgação científica com a noção de *instantia crucis* de Bacon. O artigo aborda brevemente, inclusive, as narrativas experimentais apresentadas por Boyle, com forte influência baconiana, em termos da reprodutibilidade de experimentos a partir de suas ilustrações e recursos literários.

Em momento posterior, como uma atividade colaborativa, solicita-se que os alunos analisem a concepção de experimento crucial apresentada nos materiais selecionados e trazidos por eles para a aula. De forma oral, eles podem expor suas impressões e o professor pode anotar no quadro as visões gerais apresentadas nos materiais. Em seguida, todos podem tecer considerações.

Além de especificar o tema com o exemplo supracitado (e que difere do estudo de caso central da UEPS), esta aula finaliza um processo que visa evidenciar a perspectiva baconiana-newtoniana na era da ciência moderna, que influenciou o desenvolvimento das academias e, inclusive, a visão epistemológica que depois perpassa a controvérsia Galvani-Volta. Espera-se, inclusive, que essa influência se evidencie na exposição oral dos próprios estudantes. Não obstante, o professor pode reforçá-la por meio de uma síntese integradora. Uma vez que certos conceitos como o de *experientia literata*, o de experimentação exploratória, o de experimentação crucial e a contextualização histórica da importância da experimentação no início da ciência moderna, e sua influência, estiverem em processo de assimilação, diferenciação e estabilidade, novos aprofundamentos podem ser priorizados.

Nova situação-problema em nível mais alto de complexidade

O professor pode levantar questões como: que relação o componente empírico assume em controvérsias científicas? (Retomando a situação-inicial da UEPS, agora com arcabouços teóricos específicos já trabalhados). O que vem a ser uma controvérsia científica? A gênese de uma controvérsia está sempre relacionada a discordância experimental? Que relação o experimento crucial, entendido comumente, pode ter com controvérsias científicas? Há distintos tipos de controvérsias científicas? Como as controvérsias são resolvidas? Essa nova situação-problema é, literalmente, uma tarefa reflexiva, para que o aluno termine essa aula direcionado, em termos de questões, para a seguinte.

É nesse sentido que, para a próxima aula, indica-se a leitura prévia do artigo “A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018b), que objetiva iniciar uma nova etapa de aprofundamento de conhecimentos.

Aula 5

Aprofundamento do tema – parte 3

A aula anterior finalizou com questões que direcionam o pesquisador em formação a refletir aspectos pontuais envolvendo as controvérsias científicas e, inclusive, sua relação com o componente empírico. Nesse sentido, inicia-se esse novo processo de aprofundamento resgatando essas reflexões e indagando: Na medida em que desenvolviam a leitura do artigo de Raicik, Peduzzi e Angotti (2018b) em casa, que conflitos (se existiram) vocês tiveram em relação às questões fomentadas na aula anterior? Houve convergências de ideias iniciais com

aquelas trazidas pelo artigo? De forma oral, os alunos podem se manifestar para que se verbalizem os posicionamentos preambulares frente ao tema. Em seguida, uma discussão guiada pelo docente, expositivo-dialogada, é propiciada. O artigo em questão explicita o que se pode entender por controvérsias científicas à luz da filosofia contemporânea, mostrando algumas de suas principais origens e possíveis classificações.

Os autores apresentam e exemplificam três tipos de controvérsias científicas: as analíticas, as resistivas e as argumentativas à luz de considerações kuhnianas. Internamente, há uma diferenciação progressiva do tema e sua relação com a experimentação. Os exemplos trazidos na classificação apresentada podem facilitar a assimilação do tema. O estudo de Newton com a teoria da luz e cores é novamente abordado, em nível de maior especificidade, com direcionamento específico para a discussão controversa que trava e o papel do experimento nesse caso. Não obstante, igualmente de forma sucinta, as observações de Galileu com o telescópio, a controvérsia Newton-Leibniz, entre outros, são mencionados.

Em pequenos grupos, como uma atividade colaborativa, sugere-se que os alunos apontem exemplos que poderiam ser, em princípio, classificados como controvérsias analíticas, resistivas e/ou argumentativas. Neste momento, pode-se sintetizar os exemplos com uma tabela no quadro.

Para a próxima aula, solicita-se a leitura prévia do artigo “A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas” (RAICIK; ANGOTTI, 2019).

Aula 6

Aprofundamento do tema – parte 3: continuação

Em processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa no que se refere ao conceito de controvérsias científicas, discute-se, por meio de uma dinâmica expositivo-dialogada, o artigo de Raicik e Angotti (2019). Nele, os autores abordam concepções de Kuhn acerca de valores na escolha teórica. Valores como precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência, que evidenciam boas razões para a tomada de decisão, podem auxiliar no entendimento do processo de término de debates na ciência. A classificação de McMullin, envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias na ciência também é discutida no artigo. Ainda em processo de reflexão para o ensino de ciências, traz implicações para questionar uma visão limitada de que exclusivamente por meio de experimentações as querelas são resolvidas. O professor pode apresentar, em slides por exemplo, quadro-síntese dos valores kuhnianos e da classificação de McMullin.

Uma vez que conceitos anteriores são estabelecidos e assimilados, eles podem adquirir novos significados, relacionando-se com conceitos cada vez mais complexos e específicos. A experimentação passa a ser, novamente, repensada em termos de suas funções para o término de controvérsias.

Essa etapa de aprofundamento do tema (parte 3) objetiva promover uma hierarquização de proposições acerca de controvérsias científicas. Ideias mais inclusivas de origem, definições e classificações, seguidas de uma discussão de valores na escolha teórica e um entendimento sobre o término de querelas, fomentam o princípio de diferenciação progressiva e de uma reconciliação integrativa com a ideia da experimentação na ciência.

Aula 7

Nova situação-problema

Projeta-se, em aula, um pequeno trecho do vídeo “Era uma vez: os inventores – Faraday e a eletricidade” (BARILLÉ, 1994) e indaga-se: de que forma podemos entender o acaso explicitado no vídeo? Ao explicitar que Volta logo descobre a pilha depois que Galvani

apresenta ‘sua teoria’ da eletricidade animal, que peso o vídeo está dando aos estudos de Galvani? Solicita-se, em grande grupo e de forma oral, que os alunos apresentem considerações sobre a imagem de ciência passada pelo vídeo à luz do artigo “A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal” (RAICIK, 2019), sugerido como leitura prévia para os alunos. A imagem estereotipada de se fazer ciência, a relação pouco explorada do acaso como componente científico etc, são frisadas a partir do vídeo.

Aprofundamento do tema – parte 4

Explora-se, por meio de uma discussão expositivo-dialogada, o artigo de Raicik (2019). A autora trata dos estudos iniciais de Galvani até a elaboração da sua teoria da eletricidade animal publicada em sua principal obra. Particularmente os experimentos exploratórios são contextualizados e faz-se considerações a certos aspectos da NdC, como o papel do acaso, a não neutralidade das observações e a profícua relação entre hipótese e experimentação na ciência. Alguns conceitos base da UEPS são tratados agora em nível mais alto de complexidade, inclusive, de modo que o processo de reconciliação integrativa fique mais proeminente. Semelhanças e diferenças, relações diretas com a *experientia literata*, a experimentação exploratória e aspectos da NdC são evidenciados em um exemplo específico, não trabalhado até então.

A contextualização dos experimentos galvânicos, à luz do conceito de experiência exploratória e de *experientia literata*, pode contribuir para minimizar o estereótipo de que a experimentação possui um papel limitado na ciência; como fonte (no sentido de gênese) de conhecimento ou corroboradora de teorias. As experimentações desenvolvidas pelo anatomista e seus assistentes ressaltam que, em determinados momentos da história, o jogo dialógico entre constructos teóricos (ora bem estabelecidos, por vezes incipientes) e a investigação empírica, possibilita que o ‘cientista’ seja livre para variar, duvidar, analisar resultados esperados e, inclusive e principalmente, desprovidos de expectativas.

O acaso, tanto reconhecido por Bacon, mas sem grande importância, quanto elemento relevante para a gênese ou desenvolvimento de experimentos exploratórios, se fez presente em distintos momentos da pesquisa galvânica. A casualidade, quando encontra o sujeito que a reconhece, e não sem razões lógicas, integra o processo científico e passa a ter um papel importantíssimo, em muitos casos, para a continuidade de uma investigação, como no caso de Galvani.

Aula 8

Aprofundamento do tema – parte 4: continuação

Com o intuito de descontração, inicia-se esta aula reproduzindo a animação “O sapo no poço” (TVEscola, 2009) e indaga-se: o sapo é ou não um ser enigmático? Para essa aula, os alunos devem ter lido, previamente, o artigo “Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal” (RAICIK, submetido(a)). Neste artigo, a autora resgata sucintamente a controvérsia entre Galvani e Volta acerca da eletricidade animal, discutindo alguns experimentos desenvolvidos por esses dois estudiosos, que ilustram a concepção steinleana de experimentação exploratória. Além disso, discorre em que sentido alguns experimentos podem, em princípio, ser considerados cruciais na controvérsia evidenciando, ademais, implicações para o ensino de ciências.

Por mediação docente, e através de uma discussão expositivo-dialogada, discorre-se sobre a controvérsia em questão a partir do princípio programático de reconciliação integrativa. Ideias tratadas anteriormente são novamente apontadas, em termos de similaridades e diferenças, reconciliando discrepâncias, a partir da exemplificação de uma

controvérsia analítica. Novamente aqui, o professor pode esquematizar as ideias centrais do texto, em caráter de síntese, por meio de *slides*.

O resgate histórico-epistemológico das experimentações exploratórias pode trazer à cena as distintas funções do experimento para o desenvolvimento científico. Dentre essas considerações, permite compreender a limitação em se atribuir a um experimento a função crucial de decisão imediata e inequívoca em escolhas teóricas, por exemplo. Resgatando as situações-problema anteriores, debate-se, à luz do artigo, de que forma é possível atribuir a alguns experimentos de Galvani e Volta um caráter crucial ou decisivo, como eles mesmos atribuem.

Em síntese, essa discussão fomenta uma análise e reflexão em torno da discussão epistêmica da experimentação, inclusive, crucial em princípio, da não neutralidade, da seletividade da observação, da importância de conhecimentos precedentes, da dinâmica científica, plural metodologicamente.

Nova situação-problema em nível mais alto de complexidade

A controvérsia entre Galvani e Volta suscita, ainda, questões como: que tipo de controvérsia se deu entre Galvani e Volta? Que valores, epistêmicos ou não, foram mais preponderantes no percurso do debate? Em que medida a controvérsia foi ou não resolvida? Não buscando respostas ou consensos, esse momento instiga os alunos a pensar para além do que foi discutido no artigo dessa aula e fazer ligações com conceitos já discutidos anteriormente.

Aula 9

Atividade Colaborativa

Assiste-se o trecho do documentário da BBC “Shock and Awe: The Story of Electricity” (2011). O vídeo salienta, de forma mais enfática, a rivalidade pessoal e acadêmica entre Galvani e Volta. Discorre sobre as concepções religiosas de cada um e suas distintas personalidades, fatores que podem ter influenciado seus estudos. Contextualiza Volta como um jovem arrogante e carismático, mulherengo e que adorava polêmica. Em contrapartida, releva que Galvani gostava de exibir suas experiências e que estava fortemente persuadido por seu dogma religioso. Este trecho evidencia, portanto, aspectos considerados externalistas à ciência.

Propõe-se uma breve atividade didática, em pequenos grupos, que consiste na análise epistemológica do trecho do vídeo. Que valores são abordados no vídeo? São valores epistêmicos ou não epistêmicos? Que aspectos relativos à NdC podem ser associados ao vídeo? Não se busca uma análise pormenorizada, mas indicativos e reflexões para as discussões que serão feitas posteriormente. Essa atividade serve tanto como uma etapa de revisão parcial ao estudo histórico, quanto para potencializar a reconciliação integrativa do que foi estudado nos últimos dois artigos.

Aprofundamento do tema – parte 4: continuação

Em seguida, discute-se, de forma expositivo-dialogada, o artigo “O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo” (RAICK, submetido(b)), de leitura prévia pelos alunos, fazendo relações orais explícitas com o trecho do vídeo debatido.

Assim, resgata-se os valores explicitados por Kuhn que podem contribuir para a aceitação de um novo conhecimento. Contudo, isso é feito à luz do episódio histórico em questão. Que valores permearam a comunidade, por exemplo, com a divulgação da pilha por Alessandro Volta? Além disso, retoma-se a classificação de McMullin para se interpretar

como se deu o término da controvérsia entre Galvani e Volta. Quando ela foi resolvida? Reflexões para o ensino de ciência, sobretudo no que diz respeito à ideia de que o componente empírico é sempre o árbitro infalível que permite escolhas teóricas inequívocas, é enfatizado.

A etapa de aprofundamento do tema – parte 4 (em seu todo, que compreende as aulas 7, 8 e 9) tem por finalidade fomentar um delineamento explícito de similaridades e diferenças de ideias relacionadas, como as debatidas nas etapas anteriores, em situação diferente. Em outras palavras, visa reconciliar integrativamente todos os conceitos centrais da UEPS, a partir da diferenciação deles, em um estudo de caso específico, em nível mais alto de complexidade e em um processo literal de “vai e vem” entre ideias mais gerais e inclusivas às mais específicas.

Aula 10

Aula integradora final e Aula sobre a Avaliação somativa individual e sobre a avaliação da UEPS pelos alunos

Retoma-se todo o conteúdo central da UEPS, revendo as situações-problema propostas e chamando a atenção para a relação existente entre os conceitos trabalhados. O docente pode usar slides, exposição dialogada oral e até um mapa conceitual.

Em seguida, discute-se a avaliação somativa individual da UEPS. Essa avaliação consiste na produção de um artigo (ou um texto similar) que desenvolva, epistemologicamente, um ou mais conceitos centrais discutidos na UEPS em situação distinta daquelas trabalhadas em sala de aula. Isto é, eles podem analisar epistemologicamente um vídeo não exibido em sala, um trecho de um livro, exemplificar ou contraexemplificar os conceitos centrais discutidos com exemplos históricos etc. Os alunos terão 1 mês para entregar essa tarefa para o docente.

Paralelamente a isso, cada pesquisador em formação deve entregar a avaliação da UEPS, que consiste na análise crítica dissertativa de cada componente da unidade – os materiais e as estratégias de ensino. Com isso, ensejam-se comentários e sugestões para o aprimoramento da UEPS. Cabe ressaltar que, pode-se recomendar, no início do curso, que os alunos elaborem essa avaliação ao longo das aulas.

Avaliação da aprendizagem na UEPS

Esta avaliação baseia-se nas observações livres em sala de aula, na participação dos alunos nas discussões e atividades coletivas e na avaliação somativa individual. Sugere-se que seu peso compreenda 70% da nota final. O restante da nota compreende a avaliação da UEPS pelos alunos em relação aos seus elementos: a) a dinâmica em sala de aula; b) as atividades colaborativas; c) ao texto e os artigos; d) aos vídeos/documentários; e) ao quadro comparativo.

Avaliação da UPES pelo docente

A partir desta avaliação, o docente pode produzir as alterações que se fizerem necessárias na UEPS, visando, sempre, a aprendizagem significativa dos alunos.

9.4.2 Luigi Galvani e a coreografia das rãs: experimentos exploratórios na ciência

Esta UEPS visa discutir o conceito de experimentação exploratória na perspectiva de Steinle. Além de apresentar o conceito do autor em nível mais alto de abstração, discute três

proposições sobre a Natureza da Ciência – acerca da experimentação, do acaso e das observações carregadas de pressupostos –, a fim de iniciar o processo de aprofundamento do tema. Como forma de reconciliar as discussões e propiciar ainda mais uma diferenciação progressiva em torno dos experimentos exploratórios, traz uma discussão histórica-filosófica dos estudos iniciais de Galvani até a publicação de sua obra *De viribus*, no qual apresenta sua teoria da eletricidade animal.

UEPS 2

Título: Luigi Galvani e a coreografia das rãs: experimentos exploratórios na ciência

Objetivo geral: Evidenciar que os experimentos podem possuir distintas funções na ciência a partir da conceitualização de Steinle de experimentação exploratória e dos estudos iniciais de Galvani sobre a eletricidade animal.

Conceito central: Experimentação exploratória.

Público-alvo: Alunos da licenciatura e bacharelado em física.

Disciplina: Uma disciplina que aborde aspectos históricos e epistemológicos da ciência.

Duração: Aproximadamente 11 aulas (cada uma com 50 min).

Constituintes da UEPS: A UEPS “Luigi Galvani e a coreografia das rãs: experimentos exploratórios na ciência” é constituída por um artigo, trechos de textos, trecho de um vídeo, uma avaliação escrita, além de atividades coletivas e slides.

O artigo “A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal” (RAICIK, 2019) apresenta Luigi Galvani, sua formação acadêmica e seus estudos até a publicação do “*De viribus*”; uma relação explícita é feita com os experimentos exploratórios.

Trechos do texto “Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência” (RAICIK; PEDUZZI, 2015), tratará do delineamento dado por Friedrich Steinle ao que denomina experimentação exploratória.

Trechos do texto “Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência” (PEDUZZI; RAICIK, 2019) explicitam proposições e comentários direcionados sobre os experimentos, a não neutralidade das observações e o acaso na ciência.

O conjunto de Slides apresenta as asserções selecionadas do texto de Peduzzi e Raicik (2019).

O trecho do vídeo “Era uma vez: os inventores – Faraday e a eletricidade” (BARILLÉ, 1994) apresenta Galvani fazendo uma breve alusão à “sopa de rãs” (COHEN, 1992).

A avaliação escrita, dissertativa e individual, abrange a análise de textos de divulgação científica (a serem selecionados) em termos epistemológicos, sobretudo acerca

da imagem de experimento que eles exibem e considerações críticas em relação aos elementos da UEPS (a dinâmica em sala de aula, os materiais utilizados, etc.).

Sequência didática:

Situação-inicial (1 aula)

Como situação-inicial, busca-se propor discussões acerca dos papéis que os alunos atribuem aos experimentos na ciência. Desta forma, solicita-se a eles que reflitam e apresentem ponderações orais acerca de questões como: O que é um experimento? Que função pode ter o experimento na ciência? Como se desenvolve um experimento? Essas perguntas visam levantar as concepções prévias dos alunos acerca do papel do experimento na ciência. O professor poderá desenvolver uma lista no quadro com as principais colocações dos alunos e discuti-las, em outro momento, com o grande grupo.

Situação-problema (2 aulas)

Fomenta-se reflexões acerca de questões como: O experimento serve apenas para corroborar uma teoria? Há alguma relação dinâmica entre hipóteses e experimentos? Como os estudiosos interagem com os experimentos que desenvolvem? Em seguida, lê-se um pequeno trecho do artigo de Raicik e Peduzzi (2015). Esse trecho do texto introduz o assunto em um nível mais alto de abstração e cumpre a função de um organizador prévio, no sentido de servir como uma ponte cognitiva entre o novo conhecimento e aquele já existente na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 2008). Objetiva-se que essa situação-problema gere ponderações entre as questões colocadas inicialmente e aquelas suscitadas a partir do organizador prévio. Mediada pelo docente, esse momento não tem por intuito obter respostas e consensos, mas introduzir o tema. Nesse sentido, solicita-se que os alunos, em grande grupo, desenvolvam (pode ser no quadro da sala) um mapa mental sobre o experimento na ciência e sua relação com outros elementos, como a observação, o sujeito, as variáveis etc.

Aprofundamento do tema (3 aulas)

Por meio de exposição oral, de slides e de trechos do texto “Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência” (PEDUZZI; RAICIK, 2019), disponibilizado em cópia impressa para os alunos, com leitura prévia pelos mesmos, discute-se três asserções comentadas sobre Natureza da Ciência. As proposições selecionadas no texto visam detalhar o papel das observações e do acaso na ciência e retoma questões referentes ao papel do experimento na ciência. Espera-se que a concepção de que o experimento serve apenas para corroborar (ou refutar) uma teoria, ou como fonte (gênese) de conhecimento, comece a ser, progressivamente, revista e diferenciada ao longo das discussões. Através de um processo dialético e não unilateral, almeja-se que as próprias concepções iniciais colocadas pelos alunos sirvam de pontes-cognitivas para uma visão menos limitada da experimentação na ciência.

Nova situação-problema (1 aula)

Projeta-se um trecho do vídeo “Era uma vez: os inventores – Faraday e a eletricidade” (BARILLÉ, 1994) e solicita-se que os alunos apresentem oralmente considerações acerca da visão de ciência passada pelo material, negociando, mais uma vez, significados com o docente. Será que o acaso se manifestou, de fato, nos estudos de Galvani? Será que a gênese de sua teoria da eletricidade animal está na “sopa de rãs”? Foi da noite para o dia, como é passado pelo vídeo, que Galvani desenvolveu sua teoria e, além disso, a apresentou de imediato a Volta?

Para a próxima aula, como uma atividade a ser realizada extra-classe, propõe-se a leitura do artigo “A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal” (RAICIK, 2019)”, que explicita os longos anos de estudos de Galvani até a elaboração da teoria apresentada em sua principal obra. Ademais, o texto contextualiza os ‘acazos felizes’ que se fizeram presentes nas pesquisas galvânicas e, conseqüentemente, a importância de uma mente preparada para percebê-los.

Na aula seguinte, então, retoma-se as discussões acerca do experimento exploratório, do papel do acaso e das observações em um nível mais alto de complexidade, juntamente com a exemplificação dos estudos de Galvani.

Reconciliando o tema (2 aulas)

Em grande grupo, e por meio de exposição oral e slides, discute-se o artigo lido previamente. Convida-se os alunos a relatarem semelhanças e diferenças entre as suas respostas à nova situação-problema e aquelas apresentadas no artigo, visando a reconciliação integradora.

A partir da análise do episódio histórico, e considerando que determinados conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva dos estudantes podem ser reconhecidos como relacionados, espera-se que os alunos se reorganizem conceitualmente e adquiram novos significados. O papel do acaso e a sua relevância apenas para estudiosos que o reconhecem à luz de seus pressupostos, a compreensão de que observações são carregadas de teorias, a dinâmica profícua entre hipótese e experimentação e a contextualização das características de experimentações exploratórias são alguns dos elementos a serem relacionados nestas aulas.

Avaliação somativa individual (2 aulas)

A avaliação somativa individual consiste na análise, pelos alunos, de textos de divulgação científica (a serem selecionados por eles) sobre aspectos relativos à NdC presentes nos estudos iniciais de Galvani. Cada aluno deverá identificar limitações na imagem de experimento que está sendo passada nos materiais e visões de ciência, como a noção de observação e de casualidade, apresentando vínculos e comparações com o que já foi discutido em sala de aula. Além disso, devem apresentar argumentos em relação aos aspectos epistemológicos bem desenvolvidos (ou não) nos textos. Esta avaliação somativa busca avaliar a capacidade dos alunos em evidenciar a concepção de experimentação e de ciência presentes nos materiais e em discorrer sobre as implicações de determinadas asserções para uma melhor, ou não, compreensão da ciência. Tem-se a opção de permitir que os alunos desenvolvam a avaliação em casa.

Avaliação da aprendizagem na UEPS

Esta avaliação baseia-se nas observações livres em sala de aula, na participação dos alunos nas discussões e atividades coletivas e na avaliação somativa individual. Sugere-se que seu peso compreenda 70% da nota final. Cabe ressaltar, como faz Moreira (2011c), que a UEPS será considerada profícua se apresentar indícios de aprendizagem significativa, por meio, por exemplo, da captação de significados, da compreensão e capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema, etc.

Avaliação da UEPS pelos alunos

A avaliação individual, dissertativa, abrange a análise crítica de cada componente da UEPS – os materiais e as estratégias de ensino utilizadas. Analisam-se comentários e

sugestões pertinentes para o aperfeiçoamento da UEPS, pelos alunos que tiveram a oportunidade de participar da mesma. Esta avaliação compreende 30% da nota final.

Avaliação da UEPS pelo docente

Analisa-se qualitativamente a UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos. O docente, então, pode promover as alterações necessárias para o seu melhor aproveitamento pelo aluno, no âmbito da aprendizagem significativa.

9.4.3 UEPS 3 - Valores na aceitação de um novo conhecimento: a a(ini)mizade entre um sapo, um físico e um anatomista

Esta UEPS objetiva evidenciar a relação entre ciência e valores na aceitação de um novo conhecimento a partir do término da controvérsia entre Galvani e Volta. Nesse sentido, resgata a ideia de valores na perspectiva kuhniniana em nível mais alto de abstração, diferenciando progressivamente suas ideias ao passo que se aprofunda o tema e se busca uma reconciliação integrativa com a análise do episódio histórico citado. Além disso, discute-se de que forma, à luz das considerações de McMullin, pode-se dizer que a controvérsia foi terminada.

UEPS 3

Título: Valores na aceitação de um novo conhecimento: a a(ini)mizade entre um sapo, um físico e um anatomista

Objetivo geral: Abordar alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento, à luz de uma perspectiva kuhniana, a partir do término da controvérsia entre Galvani e Volta.

Conceito central: Valores e ciência; término de controvérsia.

Público-alvo: Professores em formação continuada (nível médio).

Disciplina: Um curso de extensão ou minicurso em evento.

Duração: Aproximadamente 4 encontros (cada encontro com 2h)

Constituintes da UEPS: A UEPS “Valores na aceitação de um novo conhecimento: a a(ini)mizade entre um sapo, um físico e um anatomista” é constituída por um conjunto de slides, um artigo, um mapa mental e uma avaliação, além de atividades coletivas.

O conjunto de slides “Escolhas teóricas em querelas científicas: uma perspectiva kuhniana” visa contextualizar a relação entre ciência e valores a partir de uma perspectiva kuhniana, com a apresentação de valores como precisão, consistência, abrangência, simplicidade, fecundidade.

O artigo “O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo” (RAICIK, submetido(b)) discorre sobre como se deu o término da controvérsia entre Luigi Galvani e Alessandro Volta à luz da classificação do filósofo da ciência Ernan McMullin e discute alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento a partir de considerações de Thomas Kuhn, como o que surge com a divulgação da pilha por Volta.

O mapa mental é uma espécie de diagrama acerca dos valores na ciência na perspectiva de Thomas Kuhn, em contrapartida a uma concepção positivista. A partir do uso dos valores precisão (exatidão), consistência, abrangência (alcance), simplicidade, fecundidade como conceitos, traz uma ramificação com os seus significados.

A avaliação dissertativa e individual consiste no desenvolvimento de um plano de aula, para o nível médio, acerca da relação entre ciência e valores a partir dos tópicos discutidos na UEPS.

Sequência didática:

Encontro 1

Situação-inicial

Com o intuito de contribuir para que os participantes expressem suas ideias iniciais acerca da temática da unidade, levantam-se questões como: Vocês já ouviram falar de Thomas Kuhn? Sabem quem foi esse filósofo da ciência?

Situação-problema

Logo depois da situação-inicial, em que os participantes podem apontar se conhecem ou não Thomas Kuhn, o docente pode apresentar um pouco da vida e obras de Kuhn. A seguir, inicia-se uma situação-problema com o tema: A ciência é permeada por valores? Que tipo de valores são importantes na ciência? Os estudiosos/cientistas fazem juízos de valor? Em seguida, por meio de um conjunto de slides, e um processo expositivo-dialogado, que servem como um organizador prévio, contextualiza-se em nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade a perspectiva dos valores na ciência à luz de considerações kuhnianas.

Encontro 2

Aprofundamento do tema

Com base no artigo “O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo” (RAICIK, submetido(b)), que os participantes receberam impresso no final do encontro anterior e que deve ser lido para este, promove-se uma discussão expositivo-dialogada sobre alguns valores explicitados por Kuhn que podem estar envolvidos na escolha teórica. Visando um processo de diferenciação progressiva, trata-se da temática à luz um episódio histórico: o término da controvérsia entre Galvani e Volta acerca da eletricidade animal. Em processo de reconciliação integrativa, exploram-se esses valores em um caso específico. Desta forma, espera-se que a relação entre ciência e valores passe a ter ainda mais significado para os participantes.

Encontro 3

Nova situação-problema

Inicia-se este novo encontro retomando as discussões passadas. Para isso, sugere-se que os participantes, em pequenos grupos, analisem um mapa mental sobre os valores kuhnianos que será entregue em cópia impressa a eles. Em seguida, cada grupo pode

modificar o mapa e apresentar um novo, por meio de uma exposição oral em grande grupo, de acordo com suas próprias interpretações.

Aprofundamento do tema: continuação

Em continuidade ao aprofundamento do tema, continua-se a discussão em torno do artigo base de Raicik (submetido(b)). Frisa-se, neste encontro, de que forma se pode admitir que a controvérsia foi terminada. Para isso, discute-se brevemente uma classificação de Ernan McMullin sobre resolução, abandono e encerramento de controvérsias ponderando-se sobre o término do debate histórico analisado.

Ademais, discutem-se algumas implicações dessa temática para o ensino de ciências. Sinaliza-se, ao final deste encontro, que a avaliação somativa individual, compreendida na forma de uma atividade, consistirá no desenvolvimento de um plano de aula, simples, para a discussão da temática ciência e valores no ensino médio.

Encontro 4

Avaliação somativa individual

Esta atividade, que já foi anunciada anteriormente, propõe que cada participante desenvolva um plano de aula (simples) que permita a discussão da relação entre ciência e valores, na perspectiva que foi trabalhada na UEPS, em sala de aula de nível médio. Os alunos podem já trazer ideias em torno desse plano de aula para discussão e modificação em sala, nesse momento. Visa-se analisar de que forma os participantes, que são professores de nível médio, e estão em um curso de formação continuada, percebem a potencialidade e proficuidade do tema para ser desenvolvido em suas realidades.

Avaliação da aprendizagem na UEPS

Esta avaliação consiste nas observações livres feitas ao longo dos encontros, no mapa mental desenvolvido por cada participante e principalmente na avaliação somativa individual. Por se tratar de um curso de extensão ou minicurso, não cabe a atribuição de notas.

Avaliação da UEPS pelo docente

Deverá ser feita a partir de uma análise da avaliação anterior. Cabe a modificação de alguma atividade, constituinte ou até mesmo do tempo dispendido na UEPS?

9.4.4 UEPS 4 – Nos encantos da história, vamos descobrir que relação pode ter entre um sapo e uma garrafa de Leiden?

Esta UEPS visa contextualizar os estudos de Galvani, até o momento em que apresenta sua teoria da eletricidade animal no *De viribus* e abordar uma discussão – respeitado o público alvo a que se destina – relativa à natureza da ciência: a não neutralidade das observações. A partir da analogia que o anatomista estabelece entre o sistema neuromuscular de um sapo e a garrafa de Leiden, propõe a construção de uma garrafa de Leiden com materiais de baixo custo.

UEPS 4

Título: Nos encantos da história, vamos descobrir que relação pode ter entre um sapo e uma garrafa de Leiden?

Objetivo geral: Contextualizar historicamente os estudos iniciais de Luigi Galvani, até a publicação do *De viribus*, evidenciando a analogia que estabelece entre o sistema neuromuscular e a garrafa de Leiden. Enfatizar que as observações científicas não são neutras, mas carregadas de pressupostos teóricos.

Conceito central: Eletricidade animal; não neutralidade das observações.

Público-alvo: Alunos do ensino médio.

Disciplina: Física.

Duração: 9 aulas (com 45min cada aula).

Constituintes da UEPS: A UEPS “Nos encantos da história, vamos descobrir que relação pode ter entre um sapo e uma garrafa de Leiden?” é constituída por um documentário, um texto, uma videoaula, um conjunto de slides, um roteiro experimental, uma animação e uma avaliação somativa.

O trecho do documentário “Shock and Awe: The Story of Electricity” (BBC, 2011) evidencia os estudos de Luigi Galvani.

O texto “Contextualizando Luigi Galvani”, extraído de Raicik (2019), apresenta sucintamente Galvani.

A videoaula “Eletricidade 02 - As cargas elétricas e algumas de suas propriedades - Canal da Física” (CANAL DA FÍSICA, 2016), retoma sucintamente alguns pontos centrais da história da eletricidade, citando Stephen Gray, Charles Du Fay, Benjamim Franklin e Petrus van Musschenbroek.

O conjunto de slides contextualiza os estudos iniciais de Galvani até a publicação de sua obra principal, o *De viribus*, além de explicitar a analogia feita por ele entre o sistema neuromuscular de um sapo e a garrafa de Leiden.

O roteiro experimental, extraído e adaptado do livro *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade* (ASSIS, 2018), visa dar subsídios para que os alunos construam uma garrafa de Leiden.

A animação “Eletrizando garrafa de Leiden Caseira”, permite visualizar a distribuição de cargas em uma garrafa de Leiden.

A avaliação consiste no desenvolvimento de um mapa mental, individual, que explore as relações entre os estudos de Galvani, a garrafa de Leiden e a não neutralidade das observações.

Sugestão de leitura para o docente: Recomenda-se, ao professor pouco familiarizado com os conceitos da UEPS, a leitura do artigo “A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal” (RAICIK, 2019), que contextualiza os estudos iniciais de Galvani e a primeira proposição discutida no texto “Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência” (PEDUZZI; RAICIK, 2019) que trata da não neutralidade das observações.

Sequência didática:**Situação-inicial e situação-problema (2 aulas)**

Inicia-se indagando: Vocês já assistiram a filmes em que os alunos vão ao laboratório e começam a analisar um sapo dissecado? Vamos entender melhor a relação da contração de um sapo com a ciência e sua história?

Entrega-se aos alunos, em cópia impressa, o texto “Contextualizando Luigi Galvani” extraído de Raicik (2019), para leitura em sala de aula e posteriores comentários introdutórios sobre o anatomista; sua formação e vida pessoal. Essa leitura pode ser dinâmica e em grande grupo, dependendo do perfil dos alunos. Projeta-se, a seguir, um trecho do documentário da BBC “Shock and Awe: The Story of Electricity” (2011), que contextualiza os estudos iniciais de Galvani, de forma introdutória e abrangente.

O conjunto desses dois materiais constitui um organizador prévio. Visam dar sentido aos novos conhecimentos que serão trabalhados, em processo de diferenciação progressiva, ao longo da unidade.

Aprofundamento do tema (2 aulas)

Em seguida, projeta-se uma pequena videoaula expositiva (5min): “Eletricidade 02 - As cargas elétricas e algumas de suas propriedades - Canal da Física” (CANAL DA FÍSICA, 2016). Nessa videoaula, comenta-se alguns pontos centrais da história da eletricidade moderna servindo como um revisor para conceitos que os alunos, em princípio, já estudaram. Cita-se brevemente estudos de Stephen Gray de eletrização por contato e indução, de corpos isolantes e condutores, estudos de atração e repulsão de Charles Du Fay e de Benjamim Franklin. Ainda, contextualiza a garrafa de Leiden, desenvolvida por Petrus van Musschenbroek.

Embora o vídeo mencione que a descoberta da garrafa de Leiden tenha sido feita por Petrus van Musschenbroek, é importante que o professor frise que a invenção foi feita tanto por Musschenbroek, quanto por Ewald von Kleist, em trabalhos independentes.

Leva-se em consideração que, para esse momento da unidade, os alunos já tenham estudado noções básicas de eletricidade: cargas elétricas; processos de eletrização; condutores e isolantes; lei de Coulomb e já saibam o que é uma garrafa de Leiden.

Em continuidade, por meio de uma aula expositiva-dialogada e de um conjunto de slides, o professor pode apresentar uma síntese dos estudos iniciais de Galvani até sua analogia com a garrafa de Leiden. Ademais, o docente deve frisar que as observações não são neutras. Galvani concebeu o sistema neuromuscular do sapo como uma garrafa de Leiden, devido a necessidade de explicar o desequilíbrio nervo-músculo, inclusive com a identificação da eletricidade positiva e negativa. Depois de um constante jogo entre hipótese e experimentação ele adota um modelo explicativo baseado na analogia funcional e estrutural entre o aparelho neuromuscular e a garrafa de Leiden. Nesse processo, respeita-se o princípio da diferenciação progressiva, ao passo que o conteúdo começa ser trabalhado em nível mais alto de complexidade.

Nova situação-problema (2 aulas)

Propõe-se uma situação-problema experimental a partir da questão: é possível construirmos uma garrafa de Leiden com materiais de baixo custo aqui em sala de aula?

Os alunos podem se dividir em pequenos grupos para construir uma garrafa de Leiden com base no roteiro experimental “Construindo uma garrafa de Leiden” (extraído e adaptado de Assis, 2018), recebido em cópia impressa. O docente oferece todos os materiais necessários para o desenvolvimento da atividade.

É importante que o professor seja apenas um mediador nesse processo, permitindo que os alunos dialoguem entre si a partir do roteiro recebido. Em seguida, cada grupo pode

expor oralmente, e para todos os demais, suas impressões, dificuldades e possíveis explicações para os efeitos constatados.

Avisa-se aos alunos que, na próxima aula haverá uma avaliação que envolverá o desenvolvimento de um mapa mental e, conseqüentemente, orientação sobre o que é e como pode ser elaborado.

Avaliação somativa individual (2 aulas)

Propor que os alunos, individualmente, desenvolvam um mapa mental estabelecendo relações entre os estudos de Galvani, a garrafa de Leiden e a não neutralidade das observações.

Aula expositiva dialogada integradora final (1 aula)

Retoma-se as características mais relevantes da unidade explorando as relações entre os estudos iniciais de Galvani e a garrafa de Leiden, respeitando o princípio de reconciliação integrativa, inclusive. O professor pode revisar a explicação em torno do funcionamento da garrafa de Leiden. Para isso, pode utilizar a animação “Eletrizando garrafa de Leiden Caseira”, disponível em:

<http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99_Explor_Eletrizacao/paginas%20htmls/Anima%C3%A7%C3%A3o%20Garrafa%20Leyden.htm>

Discute-se, em grande grupo, os mapas mentais (já analisados previamente pelo docente) desenvolvidos na avaliação somativa, frisando o papel das observações carregadas de teoria na ciência.

Avaliação da aprendizagem na UEPS

Esta avaliação consiste nas observações livres feitas ao longo dos encontros, no envolvimento dos alunos na atividade experimental e, principalmente, na avaliação somativa individual.

9.4.5 UEPS 5 - O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores

Esta UEPS objetiva discutir a ideia de um experimento, em princípio, crucial. Para isso, articula discussões acerca do *experimentum crucis* de Newton, com concepções de Duhem, Popper e Lakatos à luz dos princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

UEPS 5

Título: O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores

Objetivo geral: Discutir entre alunos de física em formação que a ideia de um experimento crucial que, *per se*, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, é um mito.

Conceito central: Experimento Crucial.

Público-alvo: Alunos da licenciatura e bacharelado em física.

Disciplina: Uma disciplina que envolva aspectos históricos e epistemológicos da ciência.

Duração: Aproximadamente 12 aulas (cada uma com 50 min).

Constituintes da UEPS: A UEPS “O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores” é constituída por trechos da *obra original* de Newton, trechos de um *texto histórico*, dois *artigos*, trecho de um *vídeo*, um *mapa conceitual*, uma *avaliação escrita*, além de *atividades coletiva*.

Os trechos selecionados do artigo original de Newton, “Nova teoria sobre luz e cores” (NEWTON, 1672), – artigo traduzido por Silva e Martins (1996) – explicitam as diversas hipóteses levantadas por ele para explicar a forma oblonga da luz, e a intensa dinâmica com experimentos; além disso, descrevem o experimento crucial por ele assim denominado.

O texto histórico “La gramática de una controversia científica” (GRANÉS, 2001) apresenta os estudos de Newton sobre luz e cores, incluindo sua experiência crucial, e distintos elementos dos debates que se desencadearam após a apresentação de sua teoria. Entre as diversas críticas recebidas por Newton, aborda-se aquela apresentada por Hooke, que embora reconheça o resultado trazido pelo experimento newtoniano, diverge contundentemente da explicação dada a ele por Newton.

O artigo “Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017a) analisa como uma amostra de livros de divulgação científica, de autores com distintas formações, contextualiza os estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores, na perspectiva das ilustrações dos experimentos por ele desenvolvidos, particularmente do *experimentum crucis*. Em conclusão, apresenta implicações da análise desenvolvida para o ensino de ciências.

O artigo “Da *instantia crucis* ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência” (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017b) ressalta que a existência e o significado de experimentos cruciais são questões que não reúnem consenso na ciência e na filosofia da ciência. Discorrendo sobre os posicionamentos de Duhem, Popper e Lakatos, por exemplo, explicita que essas concepções antagônicas entre si diferem da ideia de *instantia crucis* apresentada por Francis Bacon, em 1620. Nesse sentido, resgata a definição baconiana e discute concepções de experimento crucial de alguns estudiosos, como o de Newton. Por fim, o artigo aponta reflexões para o ensino de ciências.

O trecho do documentário “Os seis experimentos que mudaram o mundo – Newton e o prisma” (NATIONAL GEOGRAPHIC, 1999) apresenta o experimento crucial com uma visão de experimentação bastante questionável.

O mapa conceitual apresenta um quadro geral de visões acerca do experimento crucial, com as teses de Duhem, Popper e Lakatos, as possíveis funções atribuídas por Newton ao seu experimento e a origem da ideia, com a *instantia crucis* de Bacon, além de relacionar essas concepções com o objetivo da UEPS. Cabe ressaltar, como faz Moreira (2013), a necessidade de os mapas serem explicados por seus autores, pois eles são representações externas de uma organização interna pessoal; porém, a título de exemplo, isto não impede que eles sejam lidos por outros sujeitos.

A avaliação escrita, dissertativa e individual, compreende as seguintes questões: 1. Desenvolva uma análise crítica, em termos epistemológicos, acerca do experimento crucial, no que se refere ao episódio histórico envolvendo Newton, em materiais a serem selecionados (livros didáticos ou trechos de vídeos); 2. Em relação aos elementos da UEPS,

materiais e estratégias de ensino utilizadas, que comentários e sugestões você teria quanto: a) a dinâmica em sala de aula; b) as atividades coletivas; c) aos textos e artigos; d) ao mapa conceitual.

Sequência didática:

Situação-inicial (1 aula)

Inicialmente, solicita-se que os alunos levantem possíveis funções dos experimentos na ciência. Em seguida, projeta-se um trecho do vídeo “Os seis experimentos que mudaram o mundo – Newton e o prisma” (NATIONAL GEOGRAPHIC, 1999), que serve como um organizador prévio. A partir de suas colocações e do vídeo, fomentam-se discussões orais e coletivas, com as possíveis questões: Será que “um” experimento pode fazer com que uma hipótese seja rejeitada e outra aceita com base somente na evidência empírica produzida? Existe um único experimento que, por si só, permite resolver uma disputa científica? Essas perguntas visam levantar as concepções prévias dos alunos acerca do papel do experimento na ciência. O professor poderá desenvolver uma lista no quadro com as principais colocações dos alunos e discuti-las, posteriormente, com o grande grupo.

Situação-problema (2 aulas)

Propõem-se questões como: vocês sabem que Isaac Newton chamou um de seus experimentos de crucial? Com que intenção Newton assim o denominou? Será que esse experimento evidenciou um resultado incontroverso na óptica? Depois das discussões geradas pelas perguntas, propõe-se aos alunos a leitura de parte do artigo “Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica”, disponibilizado em cópia impressa. Este material introdutório serve como um organizador prévio e introduz o assunto, que posteriormente será debatido com maior aprofundamento, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Esta situação-problema permitirá, de forma sucinta, geral e por meio de observações em sala de aula, perceber que relações iniciais foram feitas pelos alunos nas leituras prévias realizadas no que se refere ao experimento crucial newtoniano, sua apresentação em livros de divulgação científica e as situações-problema colocadas inicialmente. Esta situação deve ser mediada pelo docente e debatida em grande grupo sem, necessariamente, estabelecer-se respostas e consensos.

Aprofundamento do tema (3 aulas)

Apresenta-se, por meio de exposição oral e de trechos do texto “La gramática de uma controvérsia científica” (GRANÉS, 2001), bem como de extratos do artigo de Newton “Nova teoria sobre luz e cores” (NEWTON, 1672; SILVA; MARTINS, 1996), esses últimos disponibilizados em cópia impressa para os alunos, o experimento crucial de Newton e as implicações dele na controvérsia com Hooke. Esse momento visa detalhar e especificar a concepção de experimento crucial newtoniana, apresentada em termos gerais na etapa anterior, e evidenciar as discussões que ele teve com Hooke. Nesse sentido, espera-se que a concepção de que um experimento, por si só, é capaz de ser definidor e incontestável seja, progressivamente, revista e diferenciada ao longo das discussões. Busca-se sempre o diálogo com os alunos e não apenas uma exposição oral, para que o processo seja interativo e dialético, de modo a propiciar que os subsunçores da etapa anterior sirvam de ancoradouro para a análise do papel do *experimentum crucis* de Newton em seu debate com Hooke.

Nova situação-problema (3 aulas)

Sugere-se uma atividade colaborativa mediada por uma nova situação-problema, a saber: É possível definir o que é um experimento crucial? Ele pode, de fato, existir na ciência?

Que significados, então, podem ser atribuídos a eles? Em pequenos grupos, os alunos poderão se reunir e apresentar respostas, não únicas nem consensuais, sobre as questões levantadas. Esta atividade colaborativa visa levar os alunos a interagirem, novamente, negociando significados, tendo o professor como mediador.

Para a próxima aula, como uma atividade a ser feita em casa, propõe-se a leitura de parte do artigo “Da *instantia crucis* ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência”, em que se ressalta que a existência e o significado de experimentos cruciais são questões que não ostentam consenso na ciência e na filosofia da ciência.

Na aula seguinte, então, retomam-se as discussões acerca do *experimentum crucis* newtoniano em um nível mais alto de complexidade, juntamente com as concepções de Duhem, Popper e Lakatos acerca desse tipo de experimento. Instiga-se os alunos a destacarem, de forma coletiva e oral, semelhanças e diferenças entre as suas repostas às novas situações-problema e àquelas apresentadas no artigo.

Visa-se, desta forma, a partir da análise filosófica da concepção de experimentos cruciais na ciência, salientar que não existe consenso sobre essa matéria. Ademais, que esse segmento da história da óptica, por certo, contra argumenta a ideia de que um experimento, único e definidor, permite, de forma inequívoca, decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais.

Avaliação somativa individual (2 aulas)

Distribui-se extratos de cópias de livros didáticos aos alunos, ou sugere-se trechos de vídeos, que tratem do episódio histórico em questão, e solicita-se que eles desenvolvam uma análise crítica dos materiais, em termos epistemológicos, no que se refere ao experimento crucial. Cada aluno deverá identificar possíveis noções e/ou definições de experimento crucial e, conseqüentemente, visões de ciência que estão sendo passadas pelos materiais, apresentando vínculos e comparações com o que já foi discutido em sala de aula. Esta avaliação somativa busca avaliar a capacidade dos alunos em evidenciar noções de experimento crucial passadas por materiais didáticos (e vídeos, se for o caso) e em discorrer sobre as implicações de determinadas asserções sobre esse experimento para uma melhor (ou não), compreensão da ciência. Tem-se a opção de permitir que os alunos desenvolvam a avaliação em casa.

Aula integradora final (1 aula)

Retoma-se os conteúdos discutidos na UEPS, revendo as colocações dos alunos em relação às situações-problema propostas ao longo da unidade buscando a reconciliação integrativa. Isto é, exploram-se relações entre ideias, conceitos, proposições e apontam-se similaridades e diferenças importantes em relação à concepção de experimento crucial na ciência. Para tanto, ressalta-se a incongruência de se admitir que um único experimento, *per se*, é capaz de oferecer subsídios para a escolha teórica na ciência, de forma definitiva e inequívoca, como no exemplo newtoniano. Destaca-se que o assunto é complexo, não havendo consenso sobre o significado ou a existência de experimentos cruciais, como visto em Duhem, Popper e Lakatos. Salienta-se, por fim, a relevância de discussões desse tipo para o ensino de ciências, que visa fomentar uma compreensão mais adequada, por exemplo, do papel do experimento na ciência. Este momento mediado pelo docente em uma breve exposição oral, fará uso também de um mapa conceitual [fig. 1, abaixo], distribuído aos alunos, que visa apresentar um panorama geral das concepções de experimento crucial discutidas nas aulas anteriores. Cabe ressaltar, novamente, que apesar de um mapa conceitual ser uma construção pessoal, a sua apresentação pelo docente, por exemplo, pode ser útil para

fins de uma análise crítica do tema em discussão, no sentido em que pode oferecer uma visão integradora do mesmo.

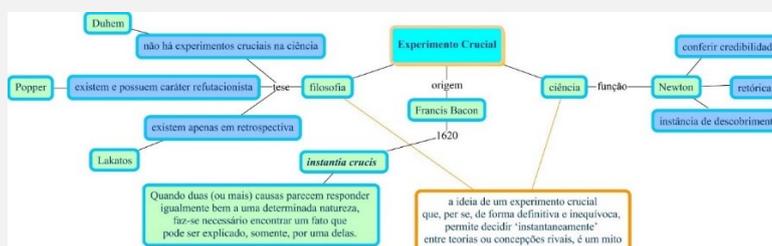


Figura 1- Mapa conceitual sobre a ideia de experimento crucial

Avaliação da aprendizagem na UEPS

Esta avaliação baseia-se nas observações livres em sala de aula, na participação dos alunos nas discussões e atividades coletivas e na avaliação somativa individual. Sugere-se que seu peso compreenda 70% da nota final. Cabe ressaltar, como faz Moreira (2011c), que a UEPS será considerada profícua se apresentar indícios de aprendizagem significativa, por meio, por exemplo, da captação de significados, da compreensão e capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema, etc.

Avaliação da UEPS pelos alunos

Avaliação individual, dissertativa, que abrange a análise crítica de cada componente da UEPS – os materiais e as estratégias de ensino utilizadas. Analisam-se comentários e sugestões pertinentes para o aperfeiçoamento da UEPS, pelos alunos que tiveram a oportunidade de vivenciar a aplicação da mesma. Esta avaliação compreende 30% da nota final.

Avaliação da UEPS pelo docente

Analisa-se qualitativamente a UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos. O docente pode modificar a sequência da UEPS e produzir alterações para o melhor desencadeamento da unidade visando a aprendizagem significativa, se necessário.

9.5 NA PROFICUIDADE DE UEPS: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

As pesquisas sobre as UEPS, tanto no que se refere ao desenvolvimento de materiais, quanto na elaboração e implementação deles, surgem a partir de 2011, com a publicação de sua fundamentação e proposta (MOREIRA, 2011c). Em poucos anos, verifica-se um crescimento expressivo de trabalhos sobre essa temática indicando, inclusive, que os estudos envolvendo essas unidades representam uma tendência para a área de ensino (SOUZA; PINHEIRO, 2019; HAMMEL *et al.*, 2019; DAMASIO; PEDUZZI, 2016; 2017; SOBIECZIK, 2017; COELHO *et al.*, 2017; CALHEIRO; GARCIA, 2014).

Por certo, na atualidade, o ensino tradicional de aulas puramente expositivas e listas de problemas e exercícios não tem mais espaço; embora ainda seja comum essa prática pouco eficaz. “O ensino, hoje”, salientam Moreira e Massoni (2016, p. vii), “deve estar centrado no aluno, com aprendizagem ativa, tendo o professor como mediador”. Uma alternativa para “sair da comodidade (ineficaz e anticientífica) do ensino expositivo tradicional” (p. vii), ressaltam os autores, é produzindo sequências didáticas potencialmente significativas, isto é, fundamentadas teoricamente – em termos educacionais e epistemológicos.

Souza e Pinheiro (2019), ao realizarem um levantamento das publicações sobre UEPS nos últimos anos, além de constatarem uma crescente representatividade do tema – no cenário das pesquisas nacionais relacionadas a recursos facilitadores de aprendizagem – trazem indícios de lacunas para pesquisas futuras. As autoras salientam que a maior concentração das propostas de UEPS está direcionada ao ensino básico (médio 45% e fundamental 20%), enquanto outros níveis de ensino, como o superior, o técnico-profissionalizante, o de pós-graduação e o de formação continuada de professores, necessitam de maiores investimentos. Além disso, elas observaram que as práticas de ensino envolvendo UEPS concentram-se nas áreas da física e da matemática; destacando que ciências, química, biologia, educação científica e história e filosofia, por exemplo, ainda precisam ser exploradas com mais profundidade.

Sendo essa uma proposição metodológica que não se restringe a uma ou outra área de ensino, verifica-se que é oportuno divulgar e apresentar mais estudos sobre seu desenvolvimento, bem como transpô-los ao contexto de formação docente, capacitando professores em sua formação inicial e continuada para o trabalho com UEPS, visando a aprendizagem significativa e a melhoria na qualidade de ensino (SOUZA; PINHEIRO, 2019, p. 126).

As UEPS apresentadas nesse artigo vêm ao encontro dessas perspectivas. O alinhamento entre princípios da teoria da aprendizagem significativa e a epistemologia moderna à luz da historiografia contemporânea, fundamentam as sequências e podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, em distintos níveis. No âmbito dos estudos envolvendo a história da ciência, isso é de notável relevância, pois eles ainda carecem, muitas vezes, de uma melhor fundamentação.

Ao analisarem teses e dissertações nacionais defendidas entre 2005 e 2014, envolvendo o uso didático da história da ciência, a título de exemplo, Damasio e Peduzzi (2017) constataram que 63% dos trabalhos analisados não apresentavam um aporte educacional. Isso evidencia a necessidade de pesquisas e materiais que envolvam HFC, seja com ênfase em aspectos da NdC ou não, alinharem referenciais teórico-epistemológico e educacional.

Propostas bem fundamentadas são essenciais para avanços significativos na implementação de unidades didáticas. Este estágio teórico é necessário e de extrema importância. Ao realizarem um levantamento de artigos relacionados a HFC entre 2001 e 2010, em quatro periódicos da área de ensino de Ciências, Schirmer e Sauerwein (2011) constataram que, embora pesquisas teóricas prevaleçam em relação às empíricas, “sem trabalhos dessa natureza certamente não há avanços em propostas para a sala de aula” (p. 7). Faz-se necessário que estudos teóricos “estejam mais associados a perspectiva de sala de aula, de forma a realmente subsidiar pesquisas com materiais adequados e de boa qualidade” (p. 8). Isto se consegue, por exemplo, desenvolvendo materiais com alinhamentos coerentes em termos educacionais, epistemológicos e metodológicos.

Apesar de uma das dificuldades para a inserção da HFC no ensino, frequentemente apontada pela literatura, ainda ser a falta de materiais didáticos adequados (MARTINS, 2007; MARTINS, 2006), este não é um fator isolado e nem a solução, caso se foque apenas nisso. Faz-se necessário pensar em estratégias didáticas, sequências fundamentadas que reflitam não apenas o ‘por que’ e ‘com o que fazer’, mas, sobretudo, o ‘como fazer’ (MARTINS, 2012).

Ao desenvolverem um estudo em disciplinas de Estágio Supervisionado, com licenciandos em física, acerca do uso ou não de elementos de HFC no processo de elaboração e preparação de aulas, Boaro e Massoni (2018) identificaram, entre outros achados, que a falta de material apropriado em epistemologia, por exemplo – além de falta de tempo, pouca familiaridade e insegurança em relação ao tema, etc – é um dos fatores que dificultam o emprego da HFC no ensino. Isso indica, ressaltam os autores, “um ‘não saber fazer’ uma aula de Física epistemologicamente adequada” (p. 137).

Reiteradamente, as UEPS aqui apresentadas oferecem perspectivas do “como fazer” alinhadas ao ‘porque’ e ‘com o que fazer’. Pensadas com foco desde pesquisadores em formação a estudantes de nível médio, elas trazem uma discussão histórico-filosófica sobre episódios da ciência com ênfase em certos aspectos da NdC. “Promover reflexões sobre a natureza da ciência em diferentes níveis de ensino é, e sempre será, um desafio, mas necessário, na medida em que pode contribuir para uma formação mais crítica do aluno” (PEDUZZI; RAICIK, 2019, p. 47).

A elaboração devidamente fundamentada e coerente de unidades didáticas, inclusive com desenvolvimento de materiais, é, sem dúvida, condição necessária para que se possa ir, com segurança, enfrentar os desafios posteriores de implementação de trabalhos em sala de

aula. Nessa perspectiva, as UEPS aqui apresentadas abrem espaço para um amplo campo de pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, v. 2, 2018.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Porto: PARALELO EDITORA, LDA, 2003.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIN, H. **Psicologia Educacional**, 2ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARILLÉ, A. **Era uma vez: os inventores – Faraday e a eletricidade**, 1994.
- BBC: **SHOCK and awe: the story of electricity**. Direção de Tim Usborne. Reino Unido: BBC Four, 2011.
- BOARO, D. A.; MASSONI, N. T. O uso de elementos da história e filosofia da ciência (hfc) em aulas de física em uma disciplina de estágio supervisionado: alguns resultados de pesquisa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 110-144, 2018.
- CALHEIRO, L. B.; GARCIA, I. K. Proposta de Inserção de Tópicos de Física de Partículas Integradas ao Conceito de Carga Elétrica por Meio de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.19, n.1, p. 177-192, 2014.
- Canal da Física. **Eletricidade 02 – As cargas elétricas e algumas de suas propriedades –** Canal da Física, 2016.
- CLOUGH, M. O.; OSLOM, J. K. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v. 17, p. 143-145, 2008.
- CLOUGH, M. P. Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. **The Pantaneto Forum**, 25, 2007.
- COELHO, A. L. M. B.; TEIXEIRA, C. B.; OLIVEIRA, F.; MEIRA, S. L. B. Uma UEPS para o ensino dos espelhos esféricos. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 8, p.121-140.
- COHEN, I. B. Foreword. In: PERA, M. **The ambiguous frog**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, p. xi-xiii, 1992.
- DAMASIO, F. **História da Ciência na Educação Científica: uma abordagem epistemológica de Paul Feyerabend procurando promover uma aprendizagem significativa crítica**. Florianópolis: UFSC, 2017. 404 p. Tese - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. **Revista Labore em Ensino de Ciências**, Campo Grande, v. 1, n. 1, p. 14-34, 2016.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê?. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.**, v. 19, e2583, p. 1-19, 2017.

FORATO, T. C.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência da Sala de Aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

GRANÉS, J. S. **La gramática de una controversia científica**: El debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz. Colombia: Editorial Unibiblos, 2001.

HAMMEL, C. ; MIYAHARA, R. Y.; SANTOS, S. A. Uma UEPS com enfoque CTSA no ensino de física: geração, produção e consumo de energia elétrica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.14, n. 1, p. 256-270, 2019.

MARTINS, A. F. História, filosofia, ensino de ciências e formação de professores: desafios, obstáculos e possibilidades. **Educação: Teoria e Prática**, v. 22, n. 40, p. 5-25, 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, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho.. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

MARTINS, R. A. Introdução: história da ciência e seu uso 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, 2006.

MASINI, E. F. S. Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v.1, n. 1, p. 16-24, 2011.

MASSONI, N. T. **A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de física: a questão da mudança epistemológica**. 2010. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Porto Alegre: Ed. do autor, 2005.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013a.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas e unidades de ensino potencialmente significativas**. Material de Apoio. Instituto de Física, UFRGS, 2013b.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011a.

MOREIRA, M. A. **Ensino e Aprendizagem: enfoques teóricos**. São Paulo: Editora Moraes, 1983.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 22-30, 2008.

MOREIRA, M. A. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2011b.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011c.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2011.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios para a organização de sequências de ensino-aprendizagem em ciências/física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

National Geographic. **Os seis experimentos que mudaram o mundo** – Newton e o prisma. National Geographic, 1999.

NEWTON, I. A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society“, **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 6, n. 80, p. 3075-3087, 1672.

PAULO, I. J. C.; SOUZA, C. M. S. G. A teoria da aprendizagem significativa e seus desdobramentos na dinâmica de ensinar e aprender ciências. Cuiabá: UAB/UFMT, 2011.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85-99379-92-9), 2011.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência.** Agosto, 2019, 57p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

RAICIK, A. C. A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 2019. **Aceito para publicação.**

RAICIK, A. C. Galvani, volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal. Submetido(a).

RAICIK, A. C. O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo. Submetido(b).

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Da *instantia crucis* ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 3, p. 192-206, 2017a.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Uma análise da ilustração do experimentum crucis de Newton em materiais de divulgação científica. **Física na Escola**, v. 15, n. 2, p. 24-30, 2017b.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O.; ANGOTTI, J. A. P. Experimentos exploratórios e experientia literata: (re) pensando a experimentação. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, 2018a.

RAICIK, A.C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.1, p. 42-62, 2018b.

RAICIK, A. C.; ANGOTTI, J. A. P. A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízes à luz de concepções kuhnianas. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 331-349, 2019.

SCHIRMER, S. B.; SAUERWEIN, I. P. S. História e Filosofia das Ciências em periódicos de ensino de 2001 a 2010. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 8, 2011, Campinas. **Atas...** Campinas: ABRAPEC, 2011.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, p. 313- 27, 1996.

SOBIECZIAK, S. **História da Física e Natureza da Ciência em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).** 2017. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

SOUZA, G. F.; PINHEIRO, N. A. M. Unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS): identificando tendências e possibilidades de pesquisa. **Revista Dynamis**. FURB, Blumenau, v. 25, n. 1, p. 113-128, 2019.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRRN, p. 9-40, 2012.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I.; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science and Education**, Netherlands, 2009.

TVEscola. **O sapo no poço**. França: Gamania Creative Center, 2009.

VALADARES, J. A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v.1, n. 1, p. 36-57, 2011.

WESTFALL, R.S. The development of Newton's Theory of Color. **Isis**, v. 53, n. 3, p. 339-358, 1962.

Considerações Finais

No desfecho de uma tese histórico-filosófica voltada ao ensino de ciências: algumas ponderações e desdobramentos

NO DESFECHO DE UMA TESE HISTÓRICO-FILOSÓFICA VOLTADA AO ENSINO DE CIÊNCIAS: ALGUMAS PONDERAÇÕES E DESDOBRAMENTOS

As teses filosóficas contemporâneas, por entre suas divergências, manifestam convergência à crítica de uma visão empírico-indutivista da ciência. Não cabe mais sustentar a separabilidade entre observação e pressupostos teóricos. “O experimentador”, enfatiza Ian Hacking (2012), “não é o ‘observador’ da filosofia da ciência tradicional, mas sim uma pessoa alerta e observadora” (p. 331). Ainda que não haja um corpo teórico de conhecimento bem estabelecido em determinado momento na ciência, a experimentação dialoga proficuamente com hipóteses que são formuladas antes e durante um processo investigativo.

Friedrich Steinle, historiador e físico alemão, enfatiza a relevância de um resgate histórico-filosófico da ciência para se compreender de forma mais completa o papel do experimento no desenvolvimento científico; ele clama por aspectos que somente nas últimas décadas têm sido alvo de investigações mais pontuais por filósofos e historiadores da ciência: as relações epistêmicas entre experiência e teoria (STEINLE, 1997; 2006). Se o experimento não é apenas fonte de conhecimento, no sentido de gênese, ou fonte de corroboração (ou refutação) de conhecimentos, que funções ele assume na ciência? Steinle frisa que:

[...] uma melhor compreensão do experimento só pode ser alcançada entrelaçando perspectivas históricas e filosóficas de tal maneira que a própria separação dos dois se torne questionável (STEINLE, 2002, p. 410).

Com efeito, com o ‘novo experimentalismo’ passou-se a “[...] reconhecer a ciência pelo que ela é: um emaranhado de pensamento e ação, teoria e experimento” (CALIMAN; ALMEIDA, 2009, p. 270). A partir dessa perspectiva, tem-se “uma imagem mais verdadeira da ciência, e a ciência uma imagem mais verdadeira dela mesma” (p. 270).

Entretanto, no ensino de ciências, uma maior aproximação entre história e filosofia da ciência começa a surgir a partir da década 1990 (MATTHEWS, 1995). Apesar dos esforços crescentes dos últimos anos, uma tradição pautada em posições epistemológicas positivistas ainda carrega uma percepção empirista da ciência e limita uma discussão mais ampla do papel do experimento, no desenvolvimento científico, em sala de aula. Nesse sentido, enfatiza-se cada vez mais a relevância de propostas que, por meio da História e Filosofia da Ciência (HFC), propiciam discussões relativas à Natureza da Ciência (NdC) no ensino (PEDUZZI; RAICIK, 2019; MOURA, 2014). Não obstante, “como” incorporar essas discussões entre professores, alunos e mesmo pesquisadores em formação, ainda segue sendo um desafio (MOURA, 2014).

As pesquisas mostram que pode não ser suficiente trazer discussões implícitas acerca da NdC em materiais e estratégias de ensino; torna-se necessário explicitar (com argumentos bem fundamentados e exemplos) proposições *sobre* a ciência para uma melhor reflexão e entendimento do tema (MASSONI, 2010; MARTINS, 2015; CLOUGH, 2007; PEDUZZI; RAICIK, 2019).

A presente tese visou analisar as possíveis funções que o experimento pode assumir em uma controvérsia científica, especificamente aquela entre Luigi Galvani e Alessandro Volta acerca da eletricidade animal, e desenvolver Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), para diferentes níveis de ensino de ciências, que comportem considerações epistemológicas acerca da experimentação e demais discussões relativas à Natureza da Ciência.

No tocante ao delineamento da pesquisa, ressalta-se a interlocução de seus referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa - TAS) e metodológico (UEPS) à luz da historiografia contemporânea. Pesquisar é produzir conhecimentos dentro de um marco teórico-educacional, epistemológico e metodológico consistentes e alinhados entre si, salienta Moreira (2004). Ancorando-se nesses referenciais, a tese buscou responder aos seguintes problemas de pesquisa: **Como uma análise de experimentos exploratórios e de experimentos, supostamente, cruciais nos estudos de Galvani e Volta, acerca da controversa eletricidade animal, pode contribuir para uma melhor compreensão dos possíveis papéis assumidos pelo experimento na construção de conhecimentos, no ensino de ciências? Que aspectos relativos à Natureza da Ciência esse episódio histórico pode suscitar para o desenvolvimento de UEPS que articulem HFC para diferentes níveis de ensino?** Para respondê-las, foram traçados onze objetivos específicos, alcançados ao longo dos nove artigos que compõem a tese.

A tese é desenvolvida na forma de artigos. Cada artigo pode ser lido independentemente; em conjunto, conferem unidade à pesquisa. Portanto, a seguir, discorre-se sobre: i) a relação existente entre cada artigo (capítulo) e os objetivos específicos da tese; ii) a proficiência da elaboração da pesquisa nesse formato, à luz de princípios ausubelianos, para a promoção da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa de conceitos centrais da tese para o leitor de sua íntegra; iii) os desdobramentos da pesquisa.

O LEITOR DOS ARTIGOS: OS CAPÍTULOS DA TESE E SUA RELAÇÃO COM OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A estruturação da presente pesquisa na forma de artigos propicia ao ‘leitor dos artigos’, encontrar, em cada um dos capítulos, o desenvolvimento de uma ideia central que, relativamente, não depende da leitura da tese em sua íntegra. O mapa mental, apresentado na figura 1, procura dar uma visão geral da tese, explicitando a relação entre os seus onze objetivos específicos e cada artigo do estudo desenvolvido.

O primeiro artigo da tese retoma a filosofia experimental de Francis Bacon, considerada um marco no que tange ao papel do experimento na ciência e normalmente atrelada à ideia comum empírico-indutivista. A perspectiva baconiana é tratada a partir da análise de partes de sua principal obra, o *Novum Organum*, mas, sobretudo, apoiada no conceito, pouco conhecido e discutido, de *experientia literata* discorrido no livro *Of the Dignity and Advancement of Learning*. A partir disso, o artigo apresenta contrapontos entre algumas dessas considerações experimentais e certas concepções do “novo experimentalismo”, principalmente à luz do conceito de “experimentação exploratória” concebido por Friedrich Steinle. Essas discussões contemplam o primeiro objetivo específico da pesquisa, a saber: *1) discorrer acerca da perspectiva experimental baconiana, em geral, e sobre o seu conceito de experientia literata, em particular, apresentando contrapontos com o conceito de experimentação exploratória delineada por Steinle*. As aproximações entre o conceito steinleano e a noção de *experientia literata*, mais especificamente, evidenciam que novos horizontes podem ser aprofundados, em termos experimentais, a partir de um resgate baconiano vinculado a visões epistemológicas contemporâneas, tanto para discussões no âmbito filosófico, quanto no ensino de ciências.

O segundo objetivo específico da tese, *2) explorar os diferentes significados atribuídos a um experimento crucial, tanto por ‘cientistas’ quanto por filósofos da ciência*, é retratado com as discussões do capítulo dois do estudo. Ao resgatar a ideia de *instancia crucis* de Bacon, que origina a noção de experimento crucial, o artigo propicia reflexões em torno de distintas interpretações desse tipo de experimento, que não reúnem consenso tanto entre estudiosos quanto por filósofos da ciência. No final do século XVII, Robert Boyle, Robert Hooke e Isaac Newton, a título de exemplo, utilizaram o termo *experimentum crucis*, com distintas conotações, que se aproximam ou se contrastam, em maior ou menor medida, com a noção baconiana. No âmbito da filosofia da ciência, as concepções antagônicas de Pierre Duhem, Karl Popper e Imre Lakatos, que sugerem tanto a inexistência de experimentos desse tipo, quanto

sua existência sob circunstâncias e definições específicas, são discutidas e aproximadas com a perspectiva de Bacon. O artigo salienta, ainda, a proficuidade do tema para o ensino de ciências. Uma imagem limitada e comum no ensino, refere-se à existência de experimentos cruciais, entendidos como definidores e incontestáveis, que permitem ‘instantaneamente’, por exemplo, encerrar controvérsias científicas. As distintas compreensões de um experimento crucial propiciam reflexões acerca do papel do experimento no desenvolvimento científico e sua dependência com o contexto ao qual se insere.

Com base na importância dada às ilustrações e aos recursos literários dos experimentos para a sua publicação na comunidade científica a partir do final do século XVII – que foram persuadidos fortemente por Boyle, influenciado pela filosofia experimental baconiana – o terceiro capítulo da tese contextualiza o *experimentum crucis* de Newton. Em função disso, analisa uma amostra de livros de divulgação científica, com ênfase nos estudos newtonianos sobre a teoria da luz e cores, na perspectiva das ilustrações dos experimentos por ele desenvolvidos, mais especificamente o do *experimentum crucis*. Este artigo integra o terceiro objetivo específico da pesquisa: 3) *investigar a noção de experimento crucial presente ou não em materiais de divulgação científica*. Com efeito, apesar de na maioria dos livros a imagem ter uma função meramente ilustrativa, a análise reforça a importância do professor como contextualizador, reflexivo e crítico em relação aos materiais de divulgação científica quando levados para a sala de aula.

A estrutura epistemológica e conceitual de uma controvérsia científica é discutida no quarto capítulo da tese e abrange o quarto objetivo específico da pesquisa: 4) *explicitar o que se pode entender por uma controvérsia científica e suas possíveis classificações*. Abordando definições, origens e possíveis classificações de controvérsias científicas, o estudo propõe e exemplifica três tipos de controvérsias: as analíticas, as resistivas e as argumentativas. Essas categorias abarcam querelas que ocorrem na ciência tanto em períodos onde existe uma efervescência teórica quanto naqueles em que há um corpo teórico já estabelecido.

O quinto artigo da tese retoma concepções de Thomas Kuhn sobre valores na escolha teórica, que ajudam no entendimento de como os estudiosos podem ser levados à tomada de decisões em controvérsias científicas, por exemplo. Com o intuito de tornar mais claro e compreensível de que forma pode se dar o término de debates na ciência, o artigo ainda discorre sobre uma classificação de Ernan McMullin envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias científicas. Nesse sentido, o quinto objetivo específico da tese, que visa 5) *evidenciar, sucintamente, a relação entre ciência e valores e sua relevância na escolha teórica*

à luz de Thomas Kuhn e Ernan McMullin, é atendido. Essas discussões contribuem para desmistificar a ideia, que ainda persiste acriticamente, em parte, no ensino de ciências, de que a experimentação é um árbitro único, exclusivo e imparcial para dirimir debates.

Os estudos iniciais de Luigi Galvani são contextualizados, com vínculos explícitos de suas experimentações tanto com a concepção de *experientia literata* baconiana quanto, e principalmente, com a experimentação exploratória de Steinle, no sexto artigo da tese. Uma análise das pesquisas galvânicas até a sua formulação da teoria da eletricidade animal, no *De viribus*, é apresentada de modo a evidenciar e exemplificar o jogo dialógico entre hipóteses e experimentações que, não raro, ocorre no desenvolvimento da ciência. Essa contextualização contribui para minimizar o estereótipo de que a experimentação possui um papel limitado na ciência, como corroboradora (ou refutadora) de teorias, ou gênese de conhecimentos. O sexto objetivo específico da tese, que intenciona 6) *examinar criticamente o papel dos experimentos exploratórios e cruciais nos estudos de Galvani e Volta*, é alcançado, preliminarmente, com esse resgate histórico-filosófico.

A análise crítica dos experimentos exploratórios e cruciais nos estudos de Galvani e Volta, ainda referente ao objetivo específico seis da tese, é cumprida integralmente com o sétimo capítulo da pesquisa. Nesse artigo, examina-se alguns experimentos exploratórios desenvolvidos por esses dois estudiosos e discorre-se em que sentido alguns dos experimentos podem, à primeira vista, ser considerados cruciais na controvérsia que travam. Além disso, ressalta alguns aspectos relativos à Natureza da Ciência, como a relatividade do significado e atribuição de um experimento como crucial, a não neutralidade da ciência, a seletividade da observação, a importância de conhecimentos precedentes, a dinâmica científica, plural metodologicamente, etc. Essas considerações contemplam, ainda, o sétimo objetivo específico da tese, a saber: 7) *discutir aspectos relativos à Natureza da Ciência na controvérsia Galvani-Volta*.

O sétimo objetivo específico, a propósito, é também abrangido no oitavo artigo da tese. Neste artigo, discute-se como se deu o término da controvérsia *analítica* entre Galvani e Volta, a partir de uma classificação de McMullin. Discorre-se, ainda, sobre alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento na ciência, a partir de perspectivas kuhnianas, como os que surgem com a divulgação da pilha por Volta. Nesse contexto, aspectos relativos à NdC referentes ao papel da experimentação, a ideia relativa de um experimento crucial, a não neutralidade científica, a relação entre ciência e valores, certos aspectos externalistas à ciência,

a influência das concepções filosóficas, religiosas, culturais, éticas do investigador etc. são, em maior ou menor medida, explicitados no trabalho.

O último artigo da tese discorre sobre princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e acerca da fundamentação teórica das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas propostas por Marco Antonio Moreira. Além disso, apresenta um conjunto de sequências didáticas ancoradas nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) à luz da historiografia contemporânea. As UEPS, desenvolvidas tanto para pesquisadores em formação, quanto para estudantes e professores em formação inicial e continuada, pretendem debater considerações epistemológicas acerca da experimentação na ciência e aspectos relativos à Natureza da Ciência, implícita ou explicitamente relacionados com o componente empírico na construção de conhecimentos.

- A UEPS 1 discute os possíveis papéis do experimento na controvérsia entre Galvani e Volta acerca da eletricidade animal e aspectos relativos à NdC (a dinâmica entre hipótese e experimentação, a seletividade das observações, as controvérsias científicas, o acaso, a relação entre ciência e valores), a partir dos conceitos centrais de *experientia literata*; experimentação exploratória; experimento crucial; controvérsia científica; valores na escolha teórica; término de debates;
- A UEPS 2 evidencia que os experimentos podem possuir distintas funções na ciência a partir da conceitualização de Steinle de experimentação exploratória e dos estudos iniciais de Galvani sobre a eletricidade animal. A unidade explora ainda outros aspectos relativos à NdC, como aqueles que envolvem a não neutralidade das observações e o acaso na ciência;
- A UEPS 3 aborda valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento, à luz de uma perspectiva kuhniana, a partir do término da controvérsia entre Galvani e Volta;
- A UEPS 4 contextualiza historicamente os estudos iniciais de Luigi Galvani, até a publicação do *De viribus*, evidenciando a analogia que estabelece entre o sistema neuromuscular e a garrafa de Leiden. Enfatiza, ademais, que as observações científicas não são neutras, mas carregadas de pressupostos teóricos;
- A UEPS 5 discorre sobre a ideia de que um experimento crucial que, *per se*, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, é um mito. Consequentemente, outros aspectos relativos à NdC estão

relacionados com a ideia central, como a não neutralidade das observações, que os dados, *per se*, não geram teorias, que a ciência é influenciada por perspectivas diversas.

Todos os materiais das unidades encontram-se disponibilizados em um site específico, de livre acesso aos interessados (<https://anabelraicik.wixsite.com/ueps>). Assim, como um todo, o artigo abarca os seguintes objetivos específicos da tese: 8) *apresentar a relevância de princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa e das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas para o desenvolvimento de materiais potencialmente significativos*; 9) *desenvolver uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, para pesquisadores em formação, que comporte considerações epistemológicas acerca da experimentação e aspectos relativos à Natureza da Ciência na controvérsia entre Galvani e Volta*; 10) *produzir Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, para distintos níveis de ensino (formação inicial e continuada, ensino médio), que discutam aspectos relativos à Natureza da Ciência associados, explícita ou implicitamente, a considerações epistemológicas sobre a experimentação*; 11) *elaborar um site, de livre acesso, para a divulgação das UEPS com seus respectivos materiais*.

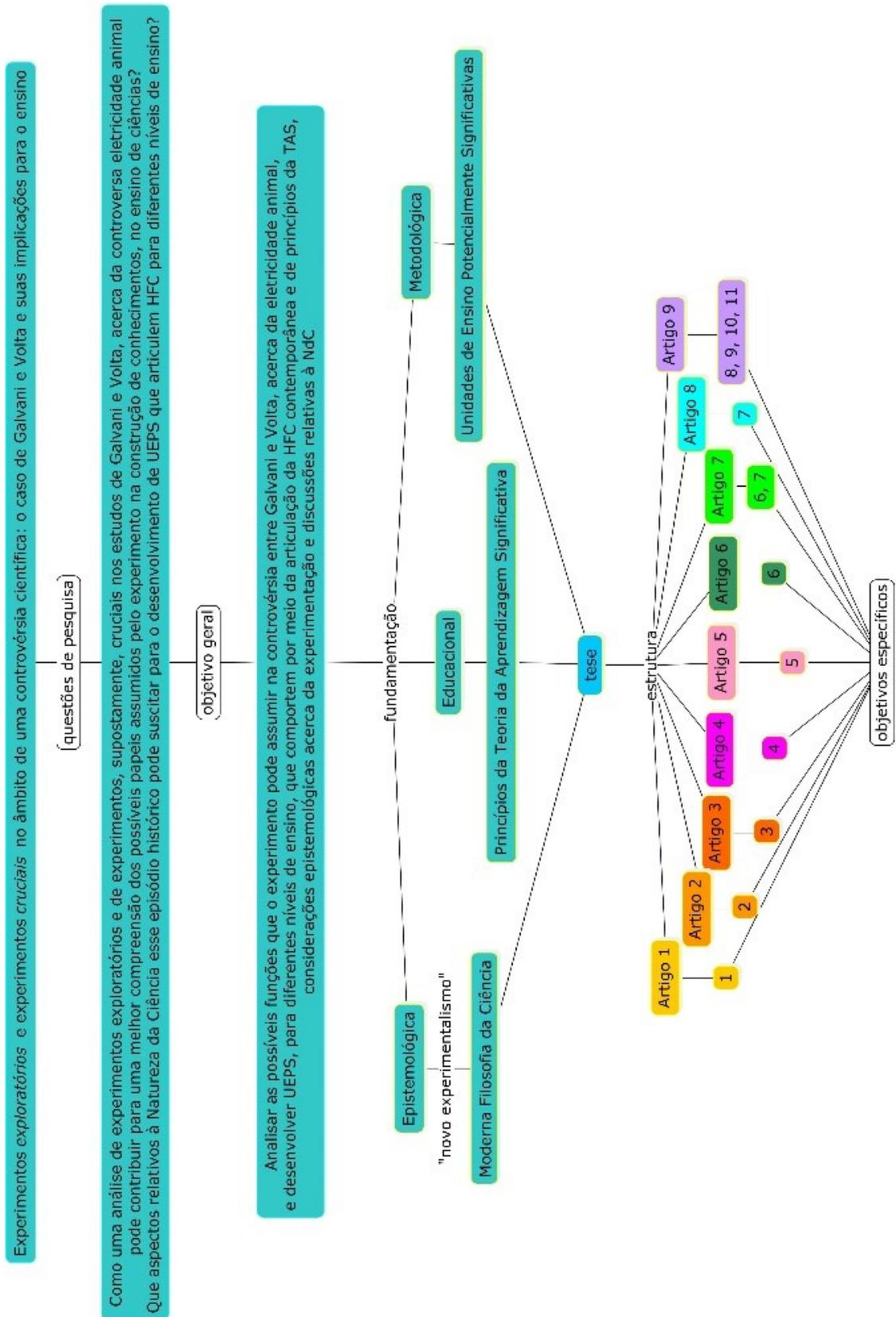


Figura 1 – Mapa mental mostrando a estrutura geral da pesquisa com a explicitação da relação entre os objetivos específicos e os artigos desenvolvidos.

O LEITOR DA TESE: A RELAÇÃO SOBREPOSTA ENTRE OS ARTIGOS COMO FOMENTADORA DA DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E DA RECONCILIAÇÃO INTEGRATIVA

O conjunto de artigos da presente pesquisa propicia ao ‘leitor da tese’ em sua íntegra, encontrar conceitos centrais diferenciados progressivamente e reconciliados integrativamente, a partir da estrutura lógica que, em seu todo, confere unidade à tese. O próprio referencial educacional da pesquisa – pautado em princípios ausubelianos – oportuniza, nesse caso, evidenciar a importância e proficiência da estruturação deste trabalho na forma de artigos e a relação sobreposta entre eles. O mapa mental, apresentado na figura 2, evidencia a articulação existente entre os artigos e suas relações, que conferem um sentido de unificação ao todo da pesquisa. O mapa conceitual, apontado na figura 3, reflete a organização de conceitos chave da pesquisa, em termos de sua fundamentação epistemológica.

Os três capítulos iniciais da tese diferenciam progressivamente a ideia de experimentação que se perpetuou no início da ciência moderna em contraponto com visões mais contemporâneas. Tratada de forma mais geral e inclusiva no primeiro capítulo, que resgata a perspectiva baconiana e a steinleana, o conceito central começa a ser cada vez mais diferenciado em termos de detalhes e especificidades com as discussões referentes a ideia de experimento crucial.

A experimentação passou a ocupar uma posição de destaque na estruturação do conhecimento a partir do século XVII. Com a defesa ao método experimental indutivo de Bacon, ela passa a estar fortemente presente, e ser imprescindível, na ciência. Não obstante, um dos conceitos centrais apresentados por Bacon, além da *experientia literata* – ainda pouco discutida – é o de *instantia crucis*. Este termo foi ‘traduzido’ como “experimento crucial”, a partir de sua utilização por Boyle, Hooke e sobretudo por Newton, e passou por análises filosóficas com Duhem, Popper e Lakatos, por exemplo, que evidenciam que esse conceito não possui uma história contínua. A partir de uma perspectiva baconiana, os relatórios empíricos começaram a fazer parte da comunidade científica. Boyle – que persuadiu consideravelmente a identidade do novo praticante científico a partir do final daquele século – desenvolve formas literárias de comunicação de experimentos. O papel das ilustrações, por exemplo, não dissociado de sua descrição, é enaltecido e estava relacionado com a reprodução dos experimentos pelos pares. Nesse contexto, Newton utiliza o termo *experimentum crucis* para

um de seus experimentos que, pode-se dizer, emprega um poder de legitimação, confiabilidade e persuasão em sua narrativa experimental.

Não dissociados do objetivo geral da tese, esses capítulos iniciais trazem implicações para o ensino de ciências. Nesse sentido é desenvolvida, inclusive, uma análise do *experimentum crucis* de Newton em livros de divulgação científica, que permite explorar relações entre a contextualização histórico-filosófica e a disseminação da imagem do experimento newtoniano em materiais que, quando utilizados em sala de aula, merecem um cuidado historiográfico para não reforçar visões limitadas da ciência. Com efeito, o ensino admite quase que tácita e acriticamente que os experimentos cruciais existem e podem permitir, entre outras coisas, o término de controvérsias.

As discussões e exemplificações com os estudos óticos de Newton nos primeiros artigos, portanto, ensejam que as reflexões envolvendo a experimentação possam adquirir cada vez mais especificidades à luz da consolidação e unificação da concepção baconiana-newtoniana que se disseminou no século XVIII e influenciou consideravelmente os trabalhos de Galvani e de Volta, objeto de estudo da presente tese.

Em síntese, o primeiro capítulo traz em sua estrutura um processo de diferenciação progressiva em torno da experimentação na ciência, em nível mais alto de abstração e inclusividade, ao passo que busca, de mesmo modo, reconciliação integrativa entre as concepções de Bacon e uma visão mais contemporânea de experimentação, com a conceitualização de Steinle, a partir de contrapontos explícitos entre elas. Em continuação ao processo de diferenciação progressiva da experimentação, os capítulos dois e três introduzem a ideia de experimento crucial, que apresenta nível mais alto de detalhe e especificidade, com seu entendimento e uso tanto por estudiosos no período da ciência moderna, quanto filósofos da ciência. Esta ideia é reconciliada integrativamente com um exemplo específico (*experimentum crucis* newtoniano) e uma análise de livros de divulgação científica, à medida que se explicita um esboço de dessemelhanças ou não dessa ideia em contextos distintos.

Com efeito, a sobreposição de ideias, que por vezes faz uso da repetição, necessária, explora explicitamente relações entre proposições em situações diversas; isto é, com funções variadas. O resgate feito de citações de Newton, sobretudo referente ao começo de seu artigo de 1672 (“*tendo escurecido meu quarto...*”), é um claro exemplo disso. No segundo artigo, contextualiza-se, com essa passagem, os seus estudos iniciais, ao passo que no capítulo seguinte, com esta mesma discussão, evidencia-se aspectos circunstanciais newtonianos,

reconciliando com aquilo que Boyle primava, a partir de comentários direcionados de um historiador da ciência.

O conjunto dos três artigos iniciais, diferencia progressivamente o conceito central de experimentação, partindo de ideias mais gerais e inclusivas para aquelas de maior detalhe e especificidade. Conceitos como o de *experientia literata*, experimentação exploratória, experimento crucial e a própria contextualização histórica da importância da experimentação no início da ciência moderna – com a evidência da influência baconiana-newtoniana –, são amplamente discutidos. Novos conceitos, associados ao central, começam a ser diferenciados progressivamente, portanto, em novo processo de aprofundamento do tema com os próximos capítulos.

Nesse sentido, os artigos quatro e cinco trazem uma estrutura hierárquica de proposições em torno do conceito de controvérsias científicas em associação ao conceito central de experimentação. Ideias mais gerais e inclusivas de origem e definições de controvérsias antecedem àquelas de suas possíveis classificações e términos, que apresentam maiores especificidades.

A importância dada as controvérsias na ciência foi, por muito tempo, negligenciada. No início da ciência moderna, a ideia vigente era a de que a ciência deveria ser incontroversa. A percepção e confiança em um método experimental, sobretudo com a influência baconiana, indicava que os conflitos deveriam ser rápidos e definitivamente resolvidos. O positivismo lógico (cujo pilares se encontram no empirismo clássico e na lógica formal), mais adiante, reforça essa noção. O contexto da justificativa – a *reconstrução racional* da ciência – dispensaria discussões calorosas; qualquer controvérsia deveria ser resolvida pela experimentação, evidências e exercício da razão. No âmbito do ensino de ciências, não raro, permeia a ideia de que as controvérsias se encerram com um experimento crucial que, *per se*, de forma incontestável e imediata, torna possível a escolha teórica.

Não obstante, a ‘revolução’ que ocorreu na filosofia da ciência, em meados do século passado, reconheceu que os desacordos estão presentes e são essenciais à ciência; inúmeros avanços importantes, e mudanças dramáticas, envolveram algum tipo de controvérsia. Embora o experimento seja um componente de extrema relevância na ciência, distintos elementos fazem parte de debates científicos e contribuem para tomadas de decisões. Uma análise do contexto da descoberta não dicotômico ao da justificação torna explícito que distintas teorias podem ser originadas por meio de uma mesma experiência. Isto é, a experiência não tem a função de servir

de árbitro imparcial; da mesma forma, não é possível admitir que um experimento crucial permite dirimir, instantaneamente, debates.

O estudo de controvérsias nesta tese está alinhado, por conseguinte, para além do objetivo geral dela, à discussão do conceito central de experimentação oriundos das reflexões suscitadas de experimento crucial e de experimentação exploratória. Com efeito, à medida que novos conceitos são introduzidos, faz-se vínculos explícitos com aqueles já apresentados. Isso fomenta, ainda mais, a reconciliação integrativa das ideias trabalhadas na pesquisa. Assim, o quarto capítulo propõe e exemplifica sucintamente três tipos de controvérsias científicas, em um processo interno de diferenciação progressiva. As controvérsias analíticas, resistivas e argumentativas, que empregam concepções kuhnianas, contextualizam alguns desacordos que ocorrem tanto em períodos onde existe uma efervescência teórica quanto naqueles em que há um corpo teórico hegemônico. Isso é feito através de delineamentos de similaridades e diferenças entre elas, sobretudo com o envolvimento do componente empírico.

Os estudos ópticos newtonianos são novamente resgatados, em outro nível de especificidade, agora com a discussão que Newton trava com Hooke. Este exemplo de controvérsia analítica evidencia o quanto a existência de um experimento (o experimento crucial de Newton, por exemplo) definidor e incontestável para aceitação de uma teoria é uma ilusão. Casos de controvérsias desse tipo trazem à tona experimentos que podem ser considerados exploratórios (na perspectiva steinleana), como os que ocorrerão na controvérsia Galvani-Volta. Para além disso, os exemplos trazidos nesse artigo evidenciam que perpassam elementos epistêmicos e não epistêmicos em querelas científicas.

Consequentemente, no capítulo seguinte, a experimentação passa a ser, novamente, repensada em termos de suas funções para o término de controvérsias. Os valores percorridos por Kuhn, que evidenciam boas razões para a tomada de decisões na ciência, são discutidos juntamente com uma classificação de McMullin envolvendo resolução, encerramento e abandono de controvérsias na ciência e diferenciam, ainda mais, o papel do experimento para dirimir debates. Em controvérsias analíticas, por exemplo, o seu desenrolar pode tornar-se tão intrincado a ponto de não permitir que a explicação empírica seja suficiente, por si mesma, para resolver a questão. Em suma, e sobretudo pensando-se no ensino de ciências, essas discussões permitem questionar a ideia limitada de que exclusivamente por meio de experimentos (frequentemente entendidos como cruciais) as querelas são resolvidas.

Deveras, não basta partir de proposições gerais e progressivamente buscar ideias mais particulares. Faz-se necessário, a fim de se promover uma diferenciação progressiva e uma

reconciliação integrativa, mais facilitadoras de aprendizagem significativa, desenvolver constantes referências aos conceitos gerais, para que eles próprios fiquem cada vez mais elaborados.

Os capítulos seis, sete e oito promovem uma reconciliação integrativa dos conceitos tratados até então, diferenciando-os em detalhes e especificidades com o objeto histórico central da tese: a controvérsia Galvani e Volta acerca da eletricidade animal. O primeiro deles explora, com os estudos iniciais galvânicos, o conceito de experimentação exploratória e o de *experientia literata*, em nível mais alto de complexidade. A reconciliação integrativa fica mais evidente, com a explicitação de semelhanças e dissimilaridades dessas ideias relacionadas, em contexto distinto – a elaboração da teoria galvânica até a publicação do *De viribus*.

Em continuação a esse processo, resgata-se a controvérsia Galvani-Volta e, além de discutir alguns de seus experimentos, que podem ser considerados exploratórios, discorre-se em que sentido alguns deles podem, em princípio, ser ou não considerados cruciais na querela em questão. Em um claro vínculo com as discussões dos capítulos anteriores, conceitos são novamente reassumidos, em termos de suas similaridades e diferenças, reconciliando possíveis discrepâncias a partir da exemplificação de uma controvérsia analítica. Em suma, esses capítulos, em conjunto, reconciliam integrativamente os conceitos tratados anteriormente, a partir da diferenciação deles, em um caso específico de mais alto nível de complexidade, em um processo literal de “vai e vem” entre ideias mais gerais e inclusivas às mais específicas.

O capítulo nove, por sua vez, reúne todas as discussões filosóficas, históricas, e histórico-filosóficas e propõe unidades de ensino potencialmente significativas, para distintos níveis de ensino. As UEPS visam discutir considerações epistemológicas acerca da experimentação na ciência e aspectos relativos à Natureza da Ciência à luz das reflexões explícitas e implicitamente tratadas anteriormente em torno da experimentação. Além disso, o capítulo abrange os fundamentos conceituais dos eixos educacional e metodológico da pesquisa.

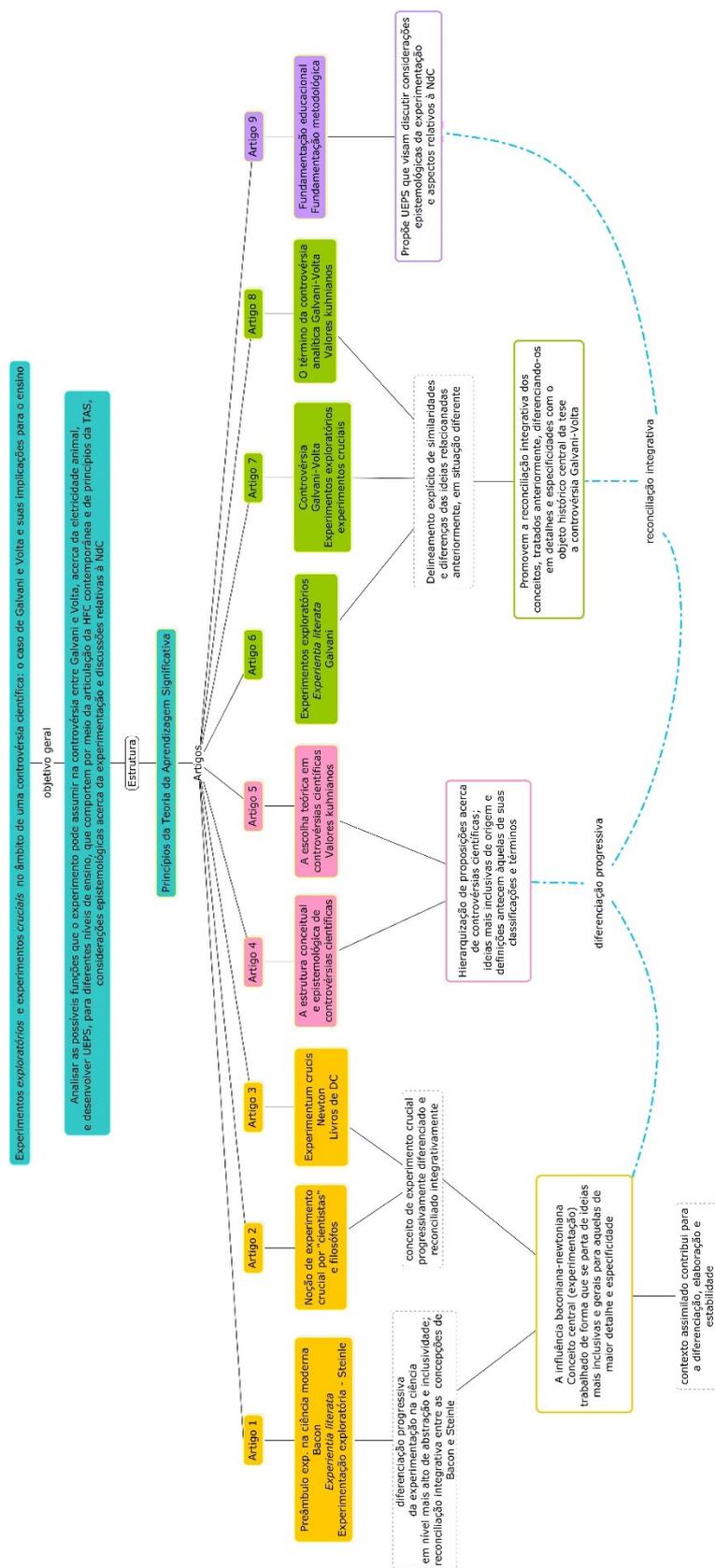


Figura 2 – Mapa mental evidenciando a sobreposição entre os artigos como promotora da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa

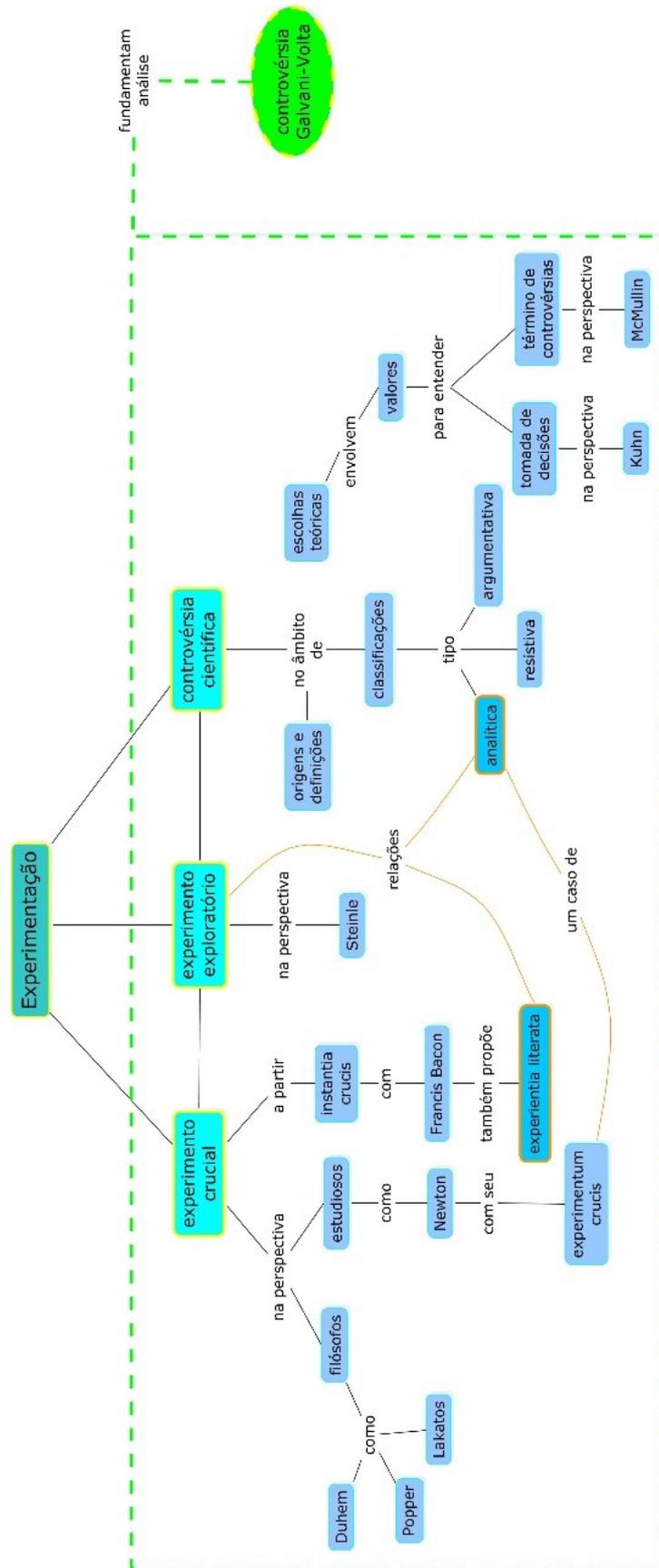


Figura 3 – Mapa conceitual apontando uma organização de conceitos chave da pesquisa, em termos de sua fundamentação epistemológica

A TESE E SEUS DESDOBRAMENTOS: O EMERGIR DE NOVOS ESTUDOS

A estrutura da tese, na forma de artigos, além dos aspectos já mencionados, suscitou (até o momento) a publicação (ou aceite) de seus seis primeiros capítulos. O processo de interação entre autor e comunidade científica, por meio dos árbitros que avaliam o trabalho, por exemplo, colabora para o processo de formação de um pesquisador. Contribuições e reflexões são antecipadas nesse decurso interativo, o que enriquece o artigo em si, e a própria pesquisa em seu todo.

A inserção da HFC no ensino, na atualidade, enfatiza que se faz necessário que estratégias didáticas pensem e reflitam não apenas o ‘por que’ e ‘com o que fazer’, mas também o ‘como fazer’ essa introdução no ensino (MARTINS, 2007; 2012; MARTINS, 2006; BOARO; MASSONI, 2018). As UEPS desenvolvidas nessa tese procuram trazer esse alinhamento com fundamentação coerente e apropriada. Todos os materiais necessários para isso, assim como a própria unidade, encontram-se disponibilizados em site de livre acesso para permitir que professores e pesquisadores interessados possam ter acesso a elas; e de, possivelmente, as utilizarem e adaptarem aos seus contextos de ensino. Não obstante, a implementação e avaliação das (ou de) UEPS pelo próprio pesquisador da tese, em processo de continuação ao estudo aqui desenvolvido, é a primeira implicação que a pesquisa traz. Ademais, na perspectiva de um tema bastante abrangente e complexo, a tese aponta ainda para novos e profícuos estudos, como:

- i) A exemplificação de conceitos centrais discutidos na tese (*experientia literata*, experimentação exploratória, experimento crucial, controvérsia científica, valores e ciência) com outros episódios históricos, devidamente analisados;
- ii) A continuação da investigação, em maior nível de profundidade, em torno do conceito baconiano de *experientia literata* com propósitos de ensino;
- iii) A análise da função das ilustrações (imagens) no âmbito dos estudos da eletricidade animal e sua importância na controvérsia Galvani-Volta, em particular;
- iv) Um resgate histórico-filosófico detalhado da implicação da pilha no desenvolvimento científico;
- v) Análise da controvérsia Galvani-Volta em livros didáticos de física e biologia;
- vi) A relação dos estudos da eletricidade com aspectos da NdC;
- vii) O estudo de controvérsias científicas ‘menores’ dentro de controvérsias ‘maiores’, com suas devidas implicações;

- viii) O desenvolvimento de outras UPES que articulem HFC e aspectos da NdC para o ensino de ciências em distintos níveis, com outros episódios históricos.

À guisa de conclusão de uma tese, mas não de um projeto de vida, faz-se uso das palavras que expressam bem a jornada daqueles que visam pensar a HFC para o ensino: “O caminho é difícil, mas gratificante para os que nele se envolvem” (PEDUZZI, 2011, p. 124).

REFERÊNCIAS

- BOARO, D. A.; MASSONI, N. T. O uso de elementos da história e filosofia da ciência (hfc) em aulas de física em uma disciplina de estágio supervisionado: alguns resultados de pesquisa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 110-144, 2018.
- CALIMAN, L. V.; ALMEIDA, R. G. Entrevista com Ian Hacking (por Paul Kennedy e David Cayley). **Psicologia & Sociedade**, v. 21, n. 3, p. 465-470, 2009.
- CLOUGH, M. P. Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. **The Pantaneto Forum**, 25, 2007.
- HACKING, I. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.
- MARTINS, A. F. História, filosofia, ensino de ciências e formação de professores: desafios, obstáculos e possibilidades. **Educação: Teoria e Prática**, v. 22, n. 40, p. 5-25, 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, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho.. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.
- MARTINS, R. A. Introdução: história da ciência e seu uso 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, 2006.
- MASSONI, N. T. **A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de física: a questão da mudança epistemológica**. 2010. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MOREIRA, M. A. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85- 99379-92-9).

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. **Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência**. Agosto, 2019, 57p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

STEINLE, F. Concept formation and the limits of justification: “Discovering” the two electricities. In SCHICKORE, J.; STEINLE, F. (Ed.). **Revisiting Discovery and Justification**. Netherlands: Springer, p. 183-195, 2006.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, 408- 432, 2002.