

Marinês Domingues Cordeiro

**CIÊNCIA E VALORES NA HISTÓRIA DA FISSÃO NUCLEAR:  
POTENCIALIDADES PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção de grau de Doutor em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz O. Q. Peduzzi

Florianópolis  
2016

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

Cordeiro, Marinês Domingues

Ciência e valores na história da fissão nuclear :  
potencialidades para a educação científica / Marinês  
Domingues Cordeiro ; orientador, Luiz Orlando de Quadro  
Peduzzi - Florianópolis, SC, 2016.  
228 p.

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

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. História e  
Filosofia da Ciência. 3. Valores constitutivos. 4. Fissão  
Nuclear. 5. Unidades de Ensino Potencialmente  
Significativas. I. Peduzzi, Luiz Orlando de Quadro. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.



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

**“Ciência e Valores na História da Fissão Nuclear:  
Potencialidades para a Educação Científica”**

Tese submetida ao Colegiado do Curso  
de Doutorado em Educação Científica  
e Tecnológica em cumprimento parcial  
para a obtenção do título de Doutor  
em Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 26 de fevereiro de 2016

Luiz O. de Q. Peduzzi (Orientador – FSC/PPGECT/UFSC)

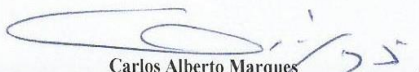
Andréia Guerra de Moraes (Examinadora – PPGCM/CEFET-RJ)

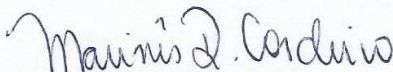
Fábio André Sangiogo (Examinador – PPECM/UFPEl)

Reinaldo Guilherme Bechler (Examinador – DAHW Brasil)

Tatiana da Silva (Examinadora – FSC/PPGECT/UFSC)

Henrique César da Silva (Examinador – MEN/PPGECT/UFSC)

  
Carlos Alberto Marques  
Coordenador do PPGECT

  
Marinês Domingues Cordeiro  
Florianópolis, Santa Catarina, 2016



Dedico este trabalho a quem sempre se dedicou a mim:  
minha família.



## AGRADECIMENTOS

Quem tem amigos tem tudo. Em sete anos de vida acadêmica, foi gratificante ver na minha vida o significado desta máxima popular. Tive o prazer de conhecer e conviver com pessoas maravilhosas nesse período. Algumas delas talvez nem imaginem o efeito que tiveram em mim.

Primeira e logicamente, minha família. O caminho de um doutorado nunca é fácil, para o doutorando, assim como para seus mais queridos. Minha família, no entanto, fez parecer simples e, mais importantemente, nunca me deixou me perder de mim mesma. Betina, minha filha, que mais uma vez dividiu a mãe com intermináveis horas à frente do computador, mas que, no quarto, já ensaiava suas primeiras experiências científicas. Minha mãe Lourdinha, que me apoiou incansavelmente. Meu noivo Lucas, que não deixou a Marinês alegre, festeira e cheia de interesses não acadêmicos desaparecer. Meu pai, meus irmãos, minha sobrinha e meu cunhado, por simplesmente estarem aí, sempre cheios de amor.

Em segundo lugar, não posso deixar de agradecer às mulheres e aos homens brasileiros que, através do CNPq, financiaram esta pesquisa por quatro anos. Graças a este esforço público, pude me dedicar intensamente à tese e apresentá-la parcialmente aos pares em diversos eventos no Brasil e na América do Sul. Em tempos de crise e acirramento de ânimos políticos, sinto-me ainda mais honrada em ter tido esta oportunidade.

Agradeço também ao meu orientador, professor Peduzzi, com quem trabalhei por sete anos em intensa parceria. Com ele, cresci muito academicamente e pude trabalhar com a formação de professores de física. Também agradeço ao corpo docente e a coordenação e secretaria do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica por todo apoio durante estes quatro anos, complementando a formação acadêmica propiciada por meu orientador.

Deixo meus sinceros agradecimentos aos professores Celso de Camargo Barros Júnior e André Ferrer Pinto Martins, que gentilmente participaram do exame de qualificação desta tese, propondo importantes reflexões sobre este trabalho. Aos professores Demetrio Delizoicov Filho e Thaís Cyrino de Mello Forato, que se disponibilizaram a examinar a versão final desta tese como membros suplentes da banca. Às professoras Tatiana da Silva e Andréia Guerra e ao professor Fábio André Sangiogo, por suas importantíssimas participações e observações durante minha defesa. À minha querida amiga e também examinadora da tese, Paula Monteiro Borges, pela prontidão em participar. Mais importantemente,

agradeço aos professores Reinaldo Guilherme Bechler e, especialmente, Henrique César da Silva, que além do empenho intelectual como examinadores, foram grandes amigos e parceiros de trabalho durante esta segunda fase do meu percurso acadêmico.

Agradeço também aos meus colegas de grupo de pesquisa Anabel Raicik, Simone Sobiecziak e Felipe Damásio pela participação em meu trabalho e disposição para discutir minhas ideias. E por último, mas nunca menos importante, agradeço às minhas eternas irmãs de orientação Larissa Ferreira e Danielle Nicolodelli Tenfen que, juntamente com Aniara Machado, foram minhas grandes e melhores amigas nestes longos anos de pesquisa em educação científica. Três das grandes mulheres e amigas com quem tive a sorte de cercar-me nesta vida, que vêm moldando a mulher e pesquisadora que sou e pretendo ser.



[M]inha meta não era tornar a ciência mais subjetiva ou mais “feminina”, mas ao contrário fazê-la mais verdadeiramente objetiva, e necessariamente “independente de gênero”. Numa palavra, procurava uma ciência melhor. Uma ciência melhor, argumentava, seria inevitavelmente uma ciência mais abrangente e mais acessível às mulheres.

(Evelyn Fox Keller, 2004)



## RESUMO

A relação entre ciência e valores sempre foi, de certo modo, atribulada. Enquanto positivistas não concediam que juízos de valor pudessem fazer parte da prática científica, os primeiros pós-positivistas chocaram o mundo filosófico ao não apenas defender que juízos de valor ocorrem na ciência, como fazem parte da atividade cotidianamente. Racionalidade e objetividade da ciência passaram a ser questionadas em razão dessa intrusão dos valores na atividade científica. Interessantemente, Thomas Kuhn associou, epistemologicamente, racionalidade e objetividade aos juízos de valor que se sucedem na ciência. Sua incipiente defesa foi alvo de críticas, mas bastante profícua: uma série de novos trabalhos sobre a relação foram desenvolvidos buscando uma terceira e mais razoável via entre o positivismo e pós-positivismo. Neste trabalho, são apresentadas as ideias seminais de quatro filósofos que analisaram o papel dos valores na atividade científica: Thomas Kuhn e as primeiras ideias, McMullin e seu argumento realista científico crítico, Larry Laudan e o modelo reticulado de justificação e Helen Longino e o papel constitutivo de determinados valores e da intersubjetividade na busca pela objetividade da ciência. São quatro teses que, apesar de muito distintas, podem promover novas perspectivas na análise da história da ciência e, em especial neste trabalho, da fissão nuclear. Em 1934, bombardeando núcleos de urânio com nêutrons, esperando torná-los artificialmente radioativos, o físico italiano Enrico Fermi e seus colaboradores comunicaram ter produzido os primeiros elementos transurânicos; a química analítica alemã Ida Noddack, no entanto, redigiu um trabalho em resposta às investigações do grupo romano, criticando as escolhas experimentais e as interpretações do grupo, levantando inclusive a hipótese de que uma quebra do núcleo irradiado pudesse ter ocorrido. Apesar das robustas críticas, seu trabalho teve pouca repercussão na comunidade e os transurânicos de Fermi foram reconhecidos como parte do cânone da ciência nuclear pelos cinco anos que se seguiram. Foram necessárias alterações na própria física nuclear, além do intenso trabalho em grupo da física austríaca Lise Meitner com seu colaborador, o químico alemão Otto Hahn (e mais tarde, o também químico Fritz Strassmann) para que os enigmáticos transurânicos fossem finalmente interpretados enquanto produtos da cisão dos núcleos. Desde uma perspectiva axiológica da filosofia da ciência, certos aspectos da história da fissão podem esclarecer diversos e interessantes pontos das teses filosóficas descritas e salvaguardar a racionalidade e a objetividade neste episódio de aparente ilogicidade. O momento histórico em que se desenrolaram

tais pesquisas permite também compreender a dimensão contextual de determinados valores que tiveram impacto na ciência nuclear da década de 1930. Essa profusão de aspectos é tratada, de um ponto de vista educacional, em todos os quatro artigos que constituem esta tese, e aprofundado no quinto artigo, que trata da construção, implementação e avaliação de uma unidade de ensino potencialmente significativa, direcionada a pesquisadores da área. Esse curso busca salientar, através da discussão de artigos, elaboração de mapas conceituais e proposição de novas unidades de ensino, a pertinência da análise axiológica da história da ciência como pilar para a educação em ciências. Embora a área de educação científica tenha uma inclinação histórica à aproximação com a filosofia da ciência, a relação entre ciência e valores – muito importante nos quadros atuais da filosofia – tem sido mera figurante nas pesquisas com educação.

**Palavras-chave:** Ciência e Valores. Valores constitutivos. Fissão nuclear. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

## ABSTRACT

It has always been somewhat troubling to associate Science and values. While positivists did not grant that value judgments could be part of scientific practice, the first post-positivist philosophers shocked the world not only defending the occurrence of value judgements in Science, but also understanding it as a typical part of the activity. As a consequence, science's rationality and objectivity began to be questioned. Interestingly, Thomas Kuhn epistemologically associated rationality and objectivity to the value judgments that succeed in science. His fledgling defense was very criticized, but also very fruitful: a series of new works on the relationship were developed seeking a third and most reasonable route between positivism and post-positivism. This work presents the seminal conceptions on Science and values of four philosophers: Thomas Kuhn and the first ideas, McMullin and the critical scientific realism argument, Larry Laudan and the reticular model of justification, and Helen Longino and the constitutive role of particular values and intersubjectivity in the quest for objectivity. These are four theses which, although very different, may lead to new perspectives in the analysis of the history of science and, particularly in this work, of nuclear fission. In 1934, bombarding uranium nuclei with neutrons in the hopes of making them artificially radioactive, Italian physicist Enrico Fermi and his colleagues reported that they had produced the very first transuranic elements; German analytical chemist Ida Noddack, however, wrote a paper in response criticizing the experimental choices and interpretations of the group, even raising the possibility of a major rupture of the studied nuclei as an alternative interpretation. Despite those robust criticisms, her work had little impact in the community, and Fermi's transuranics were recognized as part of the canon of nuclear science during the five following years. It took profound changes in nuclear physics itself, in addition to the intensive collaborative work of Austrian physicist Lise Meitner and German chemist Otto Hahn (and later on, German chemist Fritz Strassmann) so that the enigmatic transuranics were finally interpreted as products of nuclear fission. From an axiological perspective of the philosophy of science, certain aspects of the history of fission can clarify many interesting points of the described philosophical theses and safeguard the rationality and objectivity in this episode of apparent illogicality. The historical moment when those investigations took place also allows an understanding of the contextual dimension of certain values that impacted on the nuclear science of the 1930's. The first four chapters, although centered in philosophical and historical aspects, also approach the

perspectives of this discussion to Science education. The fifth chapter, however, mostly aims an educational point of view, as it describes the development, implementation, and evaluation of a potentially meaningful teaching unit, offered as a workshop to science education scholars. With the discussion of the first four chapter, the elaboration of conceptual maps, and the proposition of new teaching units on science and values, this workshop emphasizes the importance of the axiological analysis of the history of Science as a groundstone for the Science education. Even though there's a tendency in Science education of approximation to History and Philosophy of Science, the important relationship of Science and values has only played a supporting role in Science education research.

**Keywords:** Science and Values. Constitutive values. Nuclear fission. Potentially Meaningful Teaching Unit.

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1: A rede triádica de justificação, do modelo reticulado de Laudan (1984, p. 63)	68
Fig. 4.1: Tabela Periódica das décadas de 1920 e começo de 1930	138
Fig. 4.2 A rede triádica de justificação, do modelo reticulado de Laudan (1984, p. 63)	149
Fig. 5.1: Diagrama V da UEPS “Fissão Nuclear e Valores”	166
Fig. 5.2: Esquema conceitual relativo ao primeiro texto	171
Fig. 5.3: Esquema conceitual relativo ao segundo texto	174
Fig. 5.4: Mapa conceitual relativo a Kuhn e McMullin, participante C	187
Fig. 5.5: Mapa conceitual relativo a Kuhn e McMullin, participante D	189
Fig. 5.6: Mapa conceitual relativo a Kuhn e McMullin, participante A	191
Fig. 5.7: Mapa conceitual relativo às ideias de Thomas Kuhn, participante E	193
Fig. 5.8: Mapa conceitual relativo às ideias de McMullin, participante E	194
Fig. 5.9: Mapa conceitual relativo a Laudan e Longino, participante A	196
Fig. 5.10: Mapa conceitual relativo a Laudan e Longino, participante D	198

Fig. 5.11: Mapa conceitual relativo a Longino, participante E	200
Fig. 5.12: Mapa conceitual relativo a Laudan, participante E	201
Fig. 5.13: Mapa conceitual relativo a Laudan, participante C	203
Fig. 5.14: Mapa conceitual relativo a Longino, participante C	204



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 5.1: Glossário	169
Quadro 5.2: UEPS elaborada pelo participante A	206-207
Quadro 5.3: UEPS elaborada pelo participante D	208-209
Quadro 5.4: UEPS elaborada pelo participante C	210-211
Quadro 5.5: UEPS elaborada pelo participante E	212-213



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	19
<b>1 VALORES E VALORES EPISTÊMICOS: CONTRIBUIÇÕES AXIOLÓGICAS PARA A DISCUSSÃO DA ESSÊNCIA DO CONHECIMENTO NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA</b>	33
1.1 INTRODUÇÃO	34
1.2 VALORES NA CIÊNCIA	35
1.3 VALORES NA ESCOLHA TEÓRICA	38
1.4 VALORES EPISTÊMICOS	42
1.5 DIFERENÇAS, SEMELHANÇAS E POSTURAS EPISTEMOLÓGICAS	44
1.6 VALORES, REALISMO E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA	50
1.7 REFERÊNCIAS	55
<b>2 A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E VALORES CONSTITUTIVOS COMO UM NOVO HORIZONTE PARA A PESQUISA EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA</b>	59
2.1 INTRODUÇÃO	60
2.2 VALORES (EPISTÊMICOS) NA ESCOLHA TEÓRICA	62
2.3 MODELO RETICULADO E VALORES COGNITIVOS	64
2.4 VALORES CONSTITUTIVOS	69
2.5 COGNITIVO, CONSTITUTIVO, CONTEXTUAL: SIMILARIDADES, FRONTEIRAS E CRÍTICAS	74
2.6 VALORES CONSTITUTIVOS E CONTEXTUAIS: POTENCIALIDADES PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA	85
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
2.8 REFERÊNCIAS	92
<b>3 CIÊNCIA E VALORES NA “DESCOBERTA” DOS PRIMEIROS ELEMENTOS TRANSURÂNICOS</b>	95
3.1 INTRODUÇÃO	96
3.2 CIÊNCIA E VALORES	98
3.3 A DISSONÂNCIA INTERDISCIPLINAR NA FISSÃO NUCLEAR: UMA PERSPECTIVA AXIOLÓGICA	101
3.3.1 A “descoberta” dos transurânicos pela equipe italiana de Fermi	101
3.3.2 A conjectura de Noddack e a dissonância interdisciplinar de Hook	103
3.3.3 Valores cognitivos e a prematuridade da fissão	108
3.3.4 Valores contextuais e a prematuridade da fissão	115
3.4 CONTRIBUIÇÕES EDUCACIONAIS	120
3.5 FISSÃO, TRANSURÂNICOS E DESCOBERTAS: CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
3.6 REFERÊNCIAS	126
<b>4 VALORES, MÉTODOS E EVIDÊNCIAS: RACIONALIDADE E OBJETIVIDADE NA DESCOBERTA DA FISSÃO NUCLEAR</b>	131
4.1 INTRODUÇÃO	132
4.2 RACIONALIDADE, OBJETIVIDADE E VALORES: AS CONCEPÇÕES DE LAUDAN E LONGINO	134

4.3 HAHN E MEITNER: INTERDISCIPLINARIDADE E MODELO RETICULADO DE JUSTIFICAÇÃO	136
4.4 CONSIDERAÇÕES EDUCACIONAIS	152
4.5 REFERÊNCIAS	156
<b>5 FISSÃO NUCLEAR E VALORES: POSSIBILIDADES PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA</b>	159
5.1 INTRODUÇÃO	160
5.2 CONCEPÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA DA UEPS	161
5.3 “FISSÃO NUCLEAR E VALORES”: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA E INTERSUBJETIVA	165
5.4 MAPAS CONCEITUAIS SOBRE A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E VALORES	185
5.5 AS UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS DESENVOLVIDAS PELOS PARTICIPANTES	205
5.6 AVALIAÇÃO DA UEPS: CONSIDERAÇÕES FINAIS	214
5.7 REFERÊNCIAS	216
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS: LIMITES E POSSIBILIDADES</b>	219

## INTRODUÇÃO

Juízos de valor fazem parte da vivência humana cotidiana. Julga-se (ou ainda, valora-se) sistematicamente em termos estéticos, éticos, políticos, ideológicos, econômicos, religiosos. Tudo aquilo que é percebido é então rapidamente adjetivado, em referência às nossas expectativas, saberes, sentimentos e experiências. Adequado, simples, ético, imoral, santo, pecador, bonito, feio, bom, mau, interessante, enfadonho, razoável, radical são apenas alguns dos adjetivos usados diariamente para descrever como o mundo é percebido e vivenciado.

Esta dinâmica entre sujeito, mundo e representação, no entanto, sofre também influências contextuais. Diferentemente de absolutas ou estritamente subjetivas, as referências utilizadas para julgar algo como bom ou mau – ou qualquer outro par ou espectro de qualidades – dependem, também, do contexto do sujeito conhecedor e de como ele se insere e apreende os quadros axiológicos desse contexto. Inquestionavelmente, existem valores compartilhados por grupos sociais de todos os portes – desde famílias até a sociedade ocidental, por exemplo. Naturalmente, a adesão a tais valores compartilhados depende do próprio sujeito, o que não faz dos atos de conhecer e produzir conhecimento uma questão holista, um comportamento de massa, mas sofisticados fenômenos cognitivos, sociológicos e antropológicos.

Interessantemente, uma máxima assumida de forma ampla vem na contramão dessas complexas relações epistemológicas: a de que na ciência – um dos sistemas de conhecimentos mais robustos produzidos pela humanidade – não se empregam juízos de valor. Em nome da busca por uma objetividade tradicional, em que se almejava alcançar conhecimentos cada vez mais próximos da realidade, a intrusão de qualquer resquício de subjetividade do cientista ou de valores contextuais foi, por muito tempo, considerado inaceitável. A racionalidade estaria em seguir justamente as metodologias rígidas que levariam ao conhecimento mais confiável, mais objetivo. Naturalmente, essas metodologias rígidas não envolviam qualquer juízo de valor que não fosse avaliativo, quantitativo, pretensamente referente direto ao objeto. Já na década de 1950, Rudner (1953, p. 6) mostrava compreender a reserva de cientistas e filósofos:

O verdadeiro horror que a maioria dos cientistas e filósofos da ciência tem da intrusão de juízos de valor na ciência é inteiramente compreensível. As memórias do (agora menor, mas ainda existente) conflito entre ciência e, por exemplo, e as religiões

dominantes, em virtude da intrusão de juízos de valor religiosos no domínio da investigação científica, são fortes em muitos cientistas reflexivos. A busca tradicional pela objetividade exemplifica a perquirição de um de seus ideais mais preciosos. [...] Mas, o cientista fechar os olhos para o fato de que o método científico demanda intrinsecamente que se façam juízos de valor, retirar de sua consciência o fato de que ele efetivamente os faz, não o deixa de modo algum mais próximo da objetividade (RUDNER, 1953, p 6).

Como se pode ver, o que filósofos e cientistas idealizavam do conhecimento científico não era exatamente o que os próprios cientistas efetivamente faziam. E isso não se restringiu às décadas de 1950, 60 e 70, período de ciência contemporânea em que a filosofia sofreu uma grande revolução e começou a compreender que juízos de valor são parte inerente da atividade do cientista. Desde a aurora do que se entende por ciência moderna, durante o Renascimento, cientistas empregam juízos de valor, tanto na forma de avaliação quanto de valoração. De fato, não poderia ser diferente: o ato de conhecer não é alheio ao ato de julgar. Sem um olhar profundo para a ciência e sua história, iluministas e, posteriormente, positivistas construíram uma imagem de ciência que pouco se assemelhava à sua prática, supostamente salvaguardando sua objetividade e racionalidade. Apesar de letra morta na filosofia da ciência atual – com seu ocaso iniciando na década de 1950 -, essa concepção rígida do empreendimento ainda tem alcance razoável nos imaginários popular, de cientistas e notadamente de professores de ciências.

Conquanto na atualidade o papel dos juízos de valor seja amplamente aceito na filosofia da ciência, o que se segue desse pressuposto, para cada filósofo, gera teorias da ciência de aspectos bastante distintos, por vezes opostos. Ontologicamente, por exemplo, é possível defender desde o realismo científico até o antirrealismo. Ainda, se alguns filósofos entendem que a existência de juízos de valor na ciência acarreta a perda da objetividade e da racionalidade – e que isso não deve ser encarado como algo ruim, apenas inescapável –, outros defendem que o que deve ser revisado é o que se entende por racionalidade e objetividade, em virtude dessa nova perspectiva. A entrada dos valores na filosofia da ciência, portanto, não provocou o abismo estéril da irracionalidade, tão temido pelos positivistas.

[Q]ualquer análise ou (se eu puder usar o termo) reconstrução racional adequada do método da ciência deve englobar a afirmação de que o cientista enquanto cientista aceita ou rejeita hipóteses e ainda, uma análise dessa afirmação revela que dela se segue que o cientista enquanto cientista faz juízos de valor (RUDNER, 1953, p. 4).

Assim, a dinâmica entre hipóteses e evidências, como pronunciada por Rudner (1953), tem papel definitivo na relação entre ciência e valores. Afinal, avaliar hipóteses, assim como escolher teorias, envolve analisar evidências – mas não apenas isso. Porque não há um conjunto de evidências capazes de levar inequivocamente a uma hipótese ou teoria, diz-se, em filosofia, que as teorias são subdeterminadas pelas evidências. Escolher uma teoria é um ato muito mais subjetivo que a mera avaliação de evidências pretensamente objetivas; para tomar uma posição, em ciência, é necessário interpretar, julgar, valorar. Por mais que as evidências sejam robustas, cabe ao cientista julgá-las coerentes, consistentes, adequadas ou qualquer outra qualidade que se espera da boa ciência. Essa natureza valorativa da atividade – e do próprio ato de conhecer – fundamenta, enfim, a importância lógica do caráter coletivo e social da atividade, ou seja, da relevância, para um conhecimento mais sólido, da circulação de conhecimentos entre pares.

Mas que tipo de valores os cientistas costumam buscar na ciência? Um aspecto bastante conhecido é o da adequação empírica, ou precisão da teoria em relação às evidências. Simplicidade, fertilidade, escopo, coerência e consistência são outros aspectos que, reiteradamente, são emblemáticos das interpretações e escolhas teóricas feitas por cientistas. Esses valores historicamente presentes na ciência foram denominados, na filosofia, de epistêmicos, cognitivos ou constitutivos, a depender da postura ontológica guardada pelo filósofo. Epistêmico é o termo usado por realistas, por indicar que a natureza dos valores nos levam a crer que eles indicam a aproximação da representação científica com a verdade. Cognitivo, por sua vez, é o termo utilizado preferencialmente por antirrealistas, pois não se compromete com questões sobre a verdade, apenas com o próprio ato de conhecer.

Já constitutivo é a designação dos valores que são usados na ciência, que podem ser desde os tradicionalmente reconhecidos como cognitivos, até aqueles valores sociais que, não raro, acabam fazendo parte da ciência. Assim, abre-se mais uma perspectiva: como mostra a

história da ciência, valores contextuais têm influenciado nas escolhas teóricas e nas avaliações de hipóteses. Em razão disso, a filosofia da ciência vem se perguntando sobre a pertinência da intrusão desses valores, quando podem ser, eles próprios, também considerados cognitivos e se eles necessariamente provocam o fim da objetividade e da racionalidade da ciência.

De fato, a relação entre ciência e valores é profícua; é interessante, portanto, que tenha gerado mais frutos apenas após ter concretamente se tornado a protagonista de teses filosóficas. Filósofos como o estadunidense Thomas Kuhn e o irlandês Ernan McMullin, que fizeram contribuições seminais à discussão – eternizadas nos artigos “Objetividade, juízo de valor e escolha teórica”, de 1973 (KUHN, 1973) e “Values in Science”, de 1982 (McMULLIN, 1983) – trataram o assunto apenas como tema coadjuvante do conjunto de suas obras. O importante, contudo, foi a capacidade desses dois trabalhos de trazer à luz um campo inexplorado da filosofia. Larry Laudan, com “Science and Values” em 1984, e Helen Longino, com “Science as Social Knowledge” em 1990, foram dois dos filósofos que ajudaram a consolidar a relação entre ciência e valores como uma das protagonistas da filosofia da ciência, dedicando-se extensamente a escrutinar as possibilidades históricas, sociológicas, lógicas e ontológicas do tema.

História, filosofia e sociologia da ciência vêm sendo fontes de reflexões e desenvolvimento de metodologias para a educação científica, como apontou Matthews (1995). Contudo, como o próprio autor destacou, havia, na década de 1990, uma lacuna entre a filosofia da ciência presente implícita ou explicitamente no ensino de ciências e aquela que se desenvolvia entre os filósofos. Apesar das reaproximações nos últimos anos e de que, academicamente, a área filosófica tenha superado completamente a visão positivista da ciência – o que tem gerado frutos para o ensino de ciências praticado na escola, com a paulatina melhoria dos livros didáticos, por exemplo – acadêmicos em ensino de ciências têm se prendido aos referenciais filosóficos da primeira geração de pós-positivistas. Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Bachelard são bastante referenciados entre os pesquisadores da educação científica (PEDUZZI; PEDUZZI, 2002; DELIZOICOV; PEDUZZI; PEDUZZI, 1996).

Apesar de essa primeira geração de pós-positivistas ter deixado aberta a porta para discussões acerca dos juízos de valor na ciência, eles não deram ao tema a atenção necessária. Assim, mesmo permeando tacitamente suas obras, os mecanismos axiológicos da ciência não foram sistematizados com profundidade – nem mesmo na emblemática palestra de Kuhn de 1973 (KUHN, 2009). O mesmo vem ocorrendo com a



educação científica: ainda que aberta implicitamente à questão, notam-se poucas tentativas de sistematizar as reflexões filosóficas sobre ciência e valores com aspectos educacionais. Os primeiros passos dados por Allchin (1999), Salvi e Batista (2008), Lucas e Batista (2011) e Batista e Lucas (2013) são suficientes para se dizer que a área começa a acompanhar as evoluções filosóficas ocorridas desde então.

Esta tese busca introduzir os pensamentos de quatro filósofos – Kuhn, McMullin, Laudan e Longino – partindo do pressuposto de que, assim como ocorreu na filosofia, a protagonização das relações axiológicas da ciência possa esclarecer e fundamentar certas reflexões sobre o ensino de ciências, especialmente daqueles das linhas teóricas que têm defendido que a educação científica não prescinde da associação com conhecimentos acerca da natureza da ciência. Ciência e valores, portanto, guardam potencialidades, enquanto eixo filosófico, para trabalhos com atividades experimentais, linguagem, CTSA e questões sociocientíficas, história e filosofia e sociologia da ciência no ensino, educação ambiental, etc.

Reconhecendo a capacidade do tema para tantas linhas de pesquisa, esta investigação busca, em primeiro lugar, a operacionalização das teses de Kuhn, McMullin, Laudan e Longino por meio de um estudo histórico sobre a descoberta da fissão nuclear. Esse fenômeno físico e químico, aliás, é amplamente explorado no ensino de ciências, em virtude de sua aplicação bélica e energética, tornando-o especialmente eficiente em abordagens CTS e sociocientíficas. Contudo, o foco único em suas aplicações – mesmo que histórico, culminando na construção da bomba atômica que marcou a história da humanidade em 1945 – em detrimento de sua gênese, invisibilizou, nas produções em educação científica, uma história de marcantes juízos de valor com potencial para a discussão de determinados temas sociocientíficos controversos.

Intitulado “Sobre a existência de metais alcalino-terrosos resultantes da irradiação do nêutron com urânios”, o artigo dos químicos alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann (1939; 1964) foi por muito tempo considerado o trabalho emblemático da descoberta do fenômeno conhecido como fissão nuclear. Nele, os químicos apresentaram uma série de experimentos e separações feitas durante vários meses e concluíram que, ao bombardear o urânio com nêutrons térmicos, não conseguiam detectar nenhum elemento transurânico, e identificaram, entre os produtos separados, o bário – um alcalino-terroso.

A propósito dos transurânicos, para a comunidade científica da época, eles haviam sido descobertos cinco anos antes (em 1934), como resultado das investigações de Enrico Fermi e sua equipe, em Roma,

também como produtos das irradiações de urânio com nêutrons térmicos (FERMI, 1934). Apenas a química alemã Ida Noddack levantou objeções quanto à produção de transurânicos lembrando, entre outras coisas, que os italianos não haviam descartado elementos muito mais leves (NODDACK, 1934), mas esse argumento não foi considerado por outros cientistas ou aprofundado por ela mesma (HOOK, 2007). Na época, uma série de fatores influenciou para a aceitação da hipótese da equipe de Fermi: premissas teóricas equivocadas da química e da física (SIME, 2000), experiências anteriores com a irradiação de outros elementos com nêutrons (FERMI, 1938; HAHN, 1946) e o interesse geral na investigação dos núcleos e manipulação artificial dos átomos, revivido e intensificado com as descobertas do nêutron e da radioatividade artificial.

Foram necessários cinco anos, o surgimento de diversas anomalias, a evolução do modelo nuclear da gota líquida e o intercâmbio intenso de conhecimentos químicos e físicos para que, nos meses de janeiro e fevereiro de 1939, Otto Hahn, Lise Meitner, Otto Frisch e Fritz Strassmann finalmente identificassem aquele fenômeno não como a produção de transurânicos, mas como a quebra do núcleo. Mas, para além das mudanças teóricas da época, foram necessárias adaptações também nas dimensões axiológica e metodológica da ciência, em uma dinâmica bastante interessante que, mesmo impregnada de juízos de valor, envolveu decisões racionais e um sistemático ajuste entre evidências, teorias, valores e métodos.

Por ter sido prematura, ter ocorrido no período entre Guerras e em uma área interdisciplinar, a descoberta da fissão nuclear permite uma análise histórico-axiológica capaz não apenas de apontar onde foram feitos juízos de valor, mas também de ponderar as motivações para tais julgamentos e de mostrar que nem sempre os valores cognitivos envolvidos foram suficientemente justificativos para as escolhas teóricas feitas pela comunidade de físicos e químicos. Ademais, essa profusão de aspectos da atividade científica tem o poder de mostrar que, ainda que envolvida por juízos de valor dos cientistas, não faltou racionalidade entre os estudiosos que dela se ocupavam.

Assim, amparada pela questão de investigação *Que valores invocados pela comunidade científica foram determinantes na descoberta equivocada dos primeiros elementos transurânicos e no posterior reconhecimento do fenômeno da fissão nuclear? Qual o potencial desta análise para a educação científica?*, esta tese busca, em cinco artigos, alcançar os seguintes objetivos específicos:

1. Introduzir as concepções dos juízos de valor na ciência de Kuhn, McMullin, Laudan e Longino e suas implicações lógicas, sociológicas e ontológicas;
2. Ponderar suas possibilidades teóricas para diversas questões em discussão na educação científica;
3. Problematizar alguns aspectos da história da fissão nuclear, desde as primeiras pesquisas com o bombardeamento de urânios com nêutrons até sua descoberta;
4. Analisar os valores que influenciaram as escolhas teóricas dos cientistas em relação aos transurânicos e, posteriormente, à fissão nuclear e suas naturezas;
5. Elaborar um workshop sobre fissão nuclear e valores, dirigido a pesquisadores da área de educação científica;
6. Avaliar o curso e suas possibilidades para a educação científica.

A construção desta tese, com capítulos na forma de artigos, almeja proporcionar a circulação dos conhecimentos na comunidade, permitindo a maior interlocução com as demais pesquisas. De fato, Teixeira (2010), outro pesquisador a preferir o formato, justifica sua escolha enfatizando a visibilidade do trabalho e a interação com os pares, que resultam da circulação dos capítulos da tese, como dois benefícios deste exercício. Além disso, ele ainda aponta a melhoria na formação do pesquisador, a diversificação nos métodos de pesquisa e o rigor desses métodos como vantagens da configuração. Outras investigações vêm se apresentando nesse formato, como as de Freitas (2007), Oliveira (2010), Cordeiro (2011), Tenfen (2011) e Raicik (2015).

O primeiro artigo, “Valores e valores epistêmicos: contribuições axiológicas para a discussão da essência do conhecimento na educação científica”, apresenta as ideias gerais de Kuhn (2009) e de McMullin (1983) e seu papel seminal para a relação entre ciência e valores na filosofia da ciência. Suas obras foram alicerçadas em duas visões opostas da essência do conhecimento científico – antirrealista e realista – o que, naturalmente, rendeu muitas diferenças em suas teses. Curiosamente, elas também apresentam muitas semelhanças, que são tratadas amplamente no artigo. Ao fim, com uma revisão sobre o que vem sendo discutido no ensino de ciências sobre a questão ontológica da ciência e a partir dos contrastes e as superposições de Kuhn e McMullin, busca-se mostrar o potencial de um eixo filosófico centrado em ciência e valores para fins pedagógicos.

Kuhn é figura emblemática na filosofia da ciência, que, por sua vez, tem se mostrado uma área com rápidos reflexos das condições sócio-políticas. Na década de 1960, quando o mundo passava por intensas mudanças causadas pelo descontentamento geral com as condições do pós-guerra, também a filosofia da ciência passou por grandes mudanças. Sua *Estrutura das Revoluções Científicas* é, efetivamente, um marco revolucionário para a filosofia da ciência. A necessidade de criticar visões rígidas de mundo foi, afinal, uma posição típica da década de 1960 – seja na política, com os movimentos contraculturais, seja na filosofia da ciência, com o pós-positivismo.

Naturalmente, sua posição trouxe muitos adeptos e críticos. Em 1980, o realismo científico crítico passou a ganhar espaço entre filósofos que, de fato, acreditavam que Kuhn e outros pós-positivistas tinha ido “longe demais”. Entre eles, o irlandês Ernan McMullin, que, com uma sólida formação em física, assim como fortes interesses teológicos, propôs-se a lançar um olhar realista crítico às relações entre ciência e valores. Cabe lembrar que a década de 1980 é considerada, na Europa e nos Estados Unidos, como uma década de contra-ataque aos ganhos dos movimentos contraculturais, representado pelas posições políticas socialmente conservadoras e economicamente liberais do estadunidense Ronald Reagan e da britânica Margaret Thatcher. A tentativa de salvaguardar o (conservador) realismo científico, assim como a objetividade e a racionalidade iluministas, parece um aspecto filosoficamente bastante emblemático desta época.

São duas figuras de seus tempos que são analisadas no primeiro capítulo, sobretudo por seu valor seminal para dois outros filósofos, explorados no segundo capítulo. O artigo intitulado “A relação entre ciência e valores constitutivos como um novo horizonte para a pesquisa em educação científica”, também busca mostrar a fecundidade do tema para a educação científica, mas centrado especialmente nas teses de Laudan (1984) e Longino (1990). Assim como no primeiro capítulo, busca-se mostrar as características específicas de cada teoria da ciência e, sobretudo, a revisão do conceito de racionalidade científica, para Laudan, e objetividade científica, para Longino. Em especial, o artigo mostra que certos aspectos da natureza da ciência que têm ganhado enfoque no ensino de ciências podem ser abordados pelas visões de ciência dos dois filósofos apresentados.

O estadunidense Larry Laudan é um dos grandes filósofos da primeira onda pós-positivista. Diferentemente de Kuhn, Feyerabend e Lakatos, não tinha formação inicial científica. Ao longo de seu trabalho, dedicou-se a criticar, simultaneamente, o positivismo, o realismo e os

relativismos. Em *Science and Values*, seguindo sua tradição de críticas e reelaborações, Laudan constrói um modelo de justificação de teorias com seu modelo reticulado. Antes disso e mais famosamente, ele interpretou a ciência como uma atividade acumulativa e de resolução de problemas. Essa característica, assim como sua defesa do antirrealismo, é bastante transparente na sua perspectiva da relação entre ciência e valores, em que ele vislumbra a racionalidade científica na capacidade dos cientistas em ponderar e ajustar os métodos, as evidências e os valores da ciência.

Laudan é enfático, na introdução de *Science and Values*, de que não estava preocupado com questões contextuais na ciência – ou seja, não estava analisando os valores sociais, políticos, econômicos. Sua intenção era a de elaborar a dimensão cognitiva das questões que propunha sobre as relações reticuladas entre valores, métodos e teorias. Durante a década de 1980, um crescimento da sociologia da ciência fez aparente uma divisão entre as perspectivas externalistas e internalistas da ciência. Durante este tempo, fatores tipicamente cognitivos foram amplamente analisados pela filosofia da ciência; a sociologia, por sua vez, se ocupava dos fatores contextuais. Assim, visões logicamente sólidas não tinham amparo histórico e as visões historicamente baseadas caíam em abismos relativistas, fato histórico refletido, assim, na obra de Laudan.

Helen Longino, uma militante da segunda onda do feminismo, buscou fechar essa lacuna entre lógica e história. Naturalmente, sua formação como filósofa, mulher e feminista propiciou uma visão constitutiva das sofisticadas relações entre os diversos empreendimentos humanos. O feminismo de segunda onda, típico das décadas de 1960 e 1970, foi majoritariamente um feminismo radical, que buscou as raízes das opressões sexuais. Como teoria, evidenciou que essas raízes mostram seus efeitos em diversas atividades humanas, inclusive na ciência. Longino foi mais longe e elaborou uma análise da ciência que mostra não apenas sua busca pela intersubjetividade, mas sua capacidade de tornar cognitivos determinados valores sociais.

É interessante enfatizar que a obra de Longino aqui apresentada, *Science as Social Knowledge*, foi publicada em 1990. Os retrocessos sociais da década de 1980 naturalmente não passaram despercebidos pelas feministas e a obra de Longino reflete, na sua maneira de ver a ciência, as relações de opressão sexual acontecidas em episódios da história da medicina e da indústria farmacêutica daquela década de que significaram grandes retrocessos para mulheres e outras minorias políticas. Diferentemente do programa forte da sociologia da ciência, ela buscou mostrar que esses fatores contextuais tinham papel essencial na dinâmica mais internalista da ciência.

Os dois primeiros artigos visam a abordar determinadas discussões filosóficas e seu potencial para a educação científica, fundamentados na máxima de que o ensino de ciências não pode se eximir de discutir aspectos da natureza da atividade. Mostrando que existem teses filosóficas que levam a novas visões de ciência, mais sofisticadas e também bem fundamentadas, esses trabalhos têm a intenção de desvelar um campo pouco explorado da filosofia com a capacidade de sintetizar concepções latentes e antigas na educação científica.

Os quatro filósofos aqui escolhidos não foram os únicos a focar nas relações entre ciência e valores, naturalmente. Entretanto, seus diálogos e contrastes são prolíficos no que concerne uma variada gama de questões latentes ou exploradas na educação científica e no ensino de ciências, como a capacidade de propiciar uma interpretação mais coesa e bem estabelecida para as muitas características da natureza da ciência que vêm sendo elencadas na área, a aprendizagem de conteúdos através da história e da filosofia da ciência, para diminuir as fronteiras entre perspectivas internalista e externalista da ciência, para dar suporte às discussões concernentes ao suposto relativismo do construtivismo educacional e para as questões da participação, representação e consequências das minorias políticas na ciência.

Mais que temporal, a ordem de apresentação dos filósofos escolhidos busca também revelar as posições políticas, epistemológicas e ontológicas que pautaram a pesquisa histórica. Ainda que diversas características típicas de Kuhn, McMullin e Laudan sejam muito pertinentes e proíficas, de fato, são as observações de Longino relativas a objetividade e a intersubjetividade que são mais intensamente usadas para compreender não apenas as pesquisas científicas com bombardeamentos de urânio, mas seus contextos e suas consequências cognitivas e históricas.

Assim, os dois artigos que seguem trazem análises epistemológicas e axiológicas para a história da fissão nuclear. No primeiro deles, intitulado “Ciência e valores na ‘descoberta’ dos primeiros elementos transurânicos” (Capítulo 3), a história dos bombardeamentos de urânio com nêutrons, feita pelo grupo romano, é recontada, assim como as possíveis motivações para a negligência à conjectura de Ida Noddack sobre aquelas experiências. Valores cognitivos, como adequação empírica e consistência são abordados a partir dessa história, onde é possível notar que eles não eram suficientemente inequívocos para guiar a escolha feita pela comunidade. Deste modo, são apresentados determinados valores contextuais típicos daquele momento histórico que podem ter também influenciado a decisão

dos físicos nucleares e radioquímicos. O potencial educacional da história da descoberta equivocada dos transurânicos, notadamente a partir de sua relação com os juízos de valor, também é discutido no artigo.

Semelhantemente, o quarto artigo “Valores, métodos e evidências: objetividade e racionalidade na descoberta da fissão nuclear” também propõe uma discussão de aspectos importantes *de e sobre* a ciência que podem ser abordados com o uso da história das pesquisas levadas a cabo por Meitner, Hahn e Strassmann que culminaram na descoberta do fenômeno. Com a associação de diversas investigações históricas, enseja-se evidenciar que os caminhos tortuosos trilhados pelo grupo não foram sinal de ilogicidade, mas de uma permanente racionalidade, nos termos de Laudan, além de examinar os graus de intersubjetividade fomentados pelo trabalho em equipe à distância feito entre Lise Meitner, Otto Hahn, Fritz Strassmann e Otto Frisch.

Os quatro primeiros capítulos/artigos completam um conjunto de estudos históricos e filosóficos, que procuram encadear as possibilidades educacionais dos temas fissão nuclear e valores, ainda pouco explorados na educação científica. No quinto e último capítulo, apresenta-se uma unidade de ensino potencialmente significativa, implementada no segundo semestre de 2015, em um grupo de quatro pesquisadores em educação científica e tecnológica. “Fissão nuclear e valores: possibilidades para a educação científica” busca, com base na Teoria da Aprendizagem Significativa, promover a intersubjetividade e a didatização do tema histórico e filosófico para a educação científica. A unidade, aplicada durante seis semanas, resultou também na proposição, por parte dos participantes, de quatro unidades de ensino sobre ciência e valores, para diferentes públicos. Neste último capítulo, as potencialidades e os limites do tema são analisados, e as possibilidades para futuras didatizações são apresentadas.

Importa ressaltar uma busca por coerência com os referenciais teóricos desta tese tanto na etapa histórica, quanto na sondagem empírica. A Teoria da Aprendizagem Significativa, apesar de ser uma teoria que busca compreender os mecanismos cognitivos de aprendizagem, não descarta os fatores sociais que influenciam neste evento que é, em última instância, altamente pessoal. Assim como entender a ciência como prática coletiva e intersubjetiva é enfatizar a importância do coletivo e das subjetividades para a produção de um conhecimento científico coeso e robusto, a Teoria da Aprendizagem Significativa não ignora, para o âmbito da meta-aprendizagem, as influências das subjetividades e intersubjetividades na construção do conhecimento pelo aprendiz, pautando sistematicamente a importância do meio e das interações sociais

para que processos como a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora possam acontecer.

Como hipótese balizadora, esta tese apoia-se na premissa de que certos referenciais epistemológicos são especialmente férteis para variadas linhas de pesquisa em educação científica. Naturalmente, como qualquer conhecimento de outra área, é preciso que uma transposição seja feita, para que os conceitos e fenômenos específicos da filosofia da ciência sejam melhor compreensíveis aos investigadores de nossa área. Assim, os artigos que a compõem buscam apresentar tais construtos filosóficos de maneira contextualizada às suas discussões, pois são elas que os tornam significativos. O realismo epistemológico, de que versa o primeiro capítulo e que justifica algumas reflexões do segundo, é problematizado desde duas perspectivas – a realista crítica, de McMullin, e a antirrealista, típica de Kuhn, Laudan e Longino. É certo que, na filosofia, há uma grande variedade de posições ontológicas em relação ao conhecimento científico, e muitas diferenças entre os próprios antirrealistas, que são aprofundados nesta investigação. O que importa, entretanto, é a relação entre a perspectiva mantida por cada filósofo e a ideia que têm acerca do papel dos juízos de valor na ciência.

Valores e seus juízos, embora invisibilizados na maior parte da história do meta-conhecimento humano, desempenham um papel essencial na jornada do conhecimento, de todas as naturezas. A filosofia da ciência passou a compreender e dar destaque à tais relações. Não é exagero defender que a área de educação científica, sobretudo em razão de objeto, pode se beneficiar, em diversos níveis, dessa latente discussão.

## Referências

ALLCHIN, D. Values in Science: an Educational Perspective. **Science&Education**, v. 8, n. especial, p. 1, 1999.

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.

CORDEIRO, M. D. **Dos Curie a Rutherford: Aspectos Históricos e Epistemológicos da Radioatividade na Educação Científica**. 2011. 234f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.



DELIZOICOV, D. N.; PEDUZZI, S. S.; PEDUZZI, L. O. Q. (eds.). **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, dez. 1996.

FERMI, E. Possible production of elements of atomic number higher than 92. **Nature**, v. 133, p. 898, 1934.

FERMI, E. (1938). Artificial radioactivity produced by neutron bombardment. In: **Nobel Lectures, Physics 1922 – 1941**. Amsterdam: Elsevier, 1965.

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

HAHN, O. From the natural transmutations of uranium to its artificial fission (1946). In: **Nobel Lectures, Chemistry, 1942 – 1962**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1964.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. **Die Naturwissenschaften**, v. 27, p. 11, jan. 1939a.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. (1939a). Concerning the existence of alkaline earth metals resulting from neutron irradiation of uranium. **American Journal of Physics**, v. 32, n. 1, p. 9, 1964.

HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. In: HOOK, E. B. (org.). **Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência**. São Paulo: Perspectiva, 2007.

KUHN, T. S. (1973) Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, p. 363, 2009.

LAUDAN, L. **Science and values: the aims of science and their role in scientific debate**. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1984.

LONGINO, H. **Science as a social knowledge: values and objectivity in scientific inquiry**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

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.

McMULLIN, E. Values in Science. In: **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**. The

University of Chicago Press, v. 2: Symposia and Invited Papers, p. 3, 1983.

NODDACK, I. Über das Element 93. **Zeitschrift für Angewandte Chemie**, v. 47, p. 653, set. 1934.

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

PEDUZZI, S. S.; PEDUZZI, L. O. Q. (eds). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. especial, jun. 2002.

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

RUDNER, R. The scientist qua scientist makes value judgments. **Philosophy of Science**, v. 20, n. 1, p. 1, jan. 1953.

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.

SIME, R. L. The search for transurium elements and the discovery of nuclear fission. **Physics in Perspective**, v. 2, p. 48, 2000.

TENFEN, D. N. **Mapas conceituais como ferramentas para a organização do conhecimento em uma disciplina sobre a história da física**. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

# 1 VALORES E VALORES EPISTÊMICOS: CONTRIBUIÇÕES AXIOLÓGICAS PARA A DISCUSSÃO DA ESSÊNCIA DO CONHECIMENTO NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA<sup>1</sup>

**(Epistemic) Values: Axiological Contributions to the Discussion of the Essence of Knowledge in Science Education**

## **Resumo**

Apesar da longa tradição da área de educação científica em buscar aportes na filosofia da ciência contemporânea, as discussões filosóficas sobre a relação entre ciência e valores têm sido pouco abordadas e suas contribuições educacionais pouco ponderadas. Buscando aprofundar o tema, este artigo situa as questões axiológicas na filosofia da ciência e apresenta as teses de dois dos primeiros filósofos a abordarem o assunto: Thomas Kuhn, um antirrealista, e Ernan McMullin, um realista crítico. Discutem-se, assim, as similaridades e diferenças entre as duas perspectivas e suas possíveis contribuições para as reflexões, na educação científica, sobre questões como relativismo, objetivismo, realismo ingênuo e crítico, que vêm sendo levantadas nas análises do construtivismo educacional.

## **Abstract**

Despite science education's long tradition in seeking contributions in contemporary philosophy of science, philosophical discussions about the relationship between science and values and its educational contributions have been poorly addressed. With the intention to delve into the topic, this paper places philosophy of science's axiological issues in the philosophy of science, and presents the arguments of two of the first philosophers to raise the issue: Thomas Kuhn, an antirealist, and Ernan McMullin, a critical realist. Thus, the similarities and differences between the two perspectives and their possible contributions to science education on issues such as objectivism, and naive and critical realism, which have been raised in the analysis of educational constructivism.

**Palavras-chave:** Valores, Realismo Científico, Objetividade

**Keywords:** Values, Scientific Realism, Objectivity

---

<sup>1</sup> Artigo submetido a publicação em janeiro de 2015 e parcialmente apresentado, na forma de comunicação oral, no XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (Maresias, outubro de 2014).

## 1.1 INTRODUÇÃO

Valores e suas relações com as diversas áreas do conhecimento têm sido objeto de reflexões filosóficas; desde Platão, sob a nomenclatura de virtudes, a importância de estudos axiológicos se mostrou em toda a filosofia, inclusive na da ciência. A maneira de abordá-los, no entanto, apresentou grandes diferenças, seja entre positivistas e pós-positivistas em geral, seja entre as diversas vertentes pós-positivistas (McMULLIN, 1983).

Por muito tempo, compreendeu-se que a intrusão de valores, particularmente aqueles de esferas extrínsecas à ciência, acarretava necessariamente em má ciência. Apenas eram aceitos os valores, ou aspectos, dos objetos investigados que supostamente garantissem a verdade daquele conhecimento que se buscava – ou seja, aqueles valores de natureza epistêmica. A restrição aos valores era tão forte que eles eram de fato compreendidos como regras ou critérios para a escolha de uma boa teoria científica (McMULLIN, 2000).

Buscando criticar essa natureza normativa dada aos aspectos desejados ao conhecimento científico, um dos primeiros filósofos a tocar no assunto dos valores intrínsecos à ciência foi Thomas Kuhn, na Conferência Machette, proferida na Furnan University, em 1973, que se tornou capítulo de seu livro *A Tensão Essencial* (KUHN, 2009). Apesar de bastante criticada, a posição de Kuhn abriu as portas para um novo espaço de debates na filosofia da ciência.

Desde a proposição de Kuhn, iniciou-se um movimento mais recente na filosofia da ciência que faz da relação entre ciência e valores uma protagonista relevante das teorias. Sobretudo a partir da década de 1980, filósofos como Ernan McMullin e Larry Laudan lançaram novas perspectivas sobre a questão axiológica da ciência. Mais atualmente, desde 1990, Helen Longino e Hugh Lacey também vêm se dedicando ao assunto. Neste trabalho, apresentam-se a concepção pioneira de Kuhn sobre valores e a proposição realista crítica de Ernan McMullin, que geraram, posteriormente, grandes discussões e novas teorias na filosofia da ciência.

As contribuições de Thomas Kuhn à filosofia da ciência tornam dispensáveis apresentações mais prolongadas do físico e filósofo à área de educação científica. O irlandês Ernan McMullin, por sua vez, é pouco conhecido entre os educadores em ciência. Nascido em 1924, foi Professor Emérito de Filosofia na Universidade Notre Dame, nos Estados Unidos. Foi ordenado padre da Igreja Católica antes de sua trajetória acadêmica, que envolveu, entre outras coisas, o estudo de física teórica

com Erwin Schrödinger, em Dublin – fatos biográficos que explicam seu interesse filosófico pela física, sobretudo nas associações entre cosmologia e teologia. Além disso, dedicou-se ao estudo da relação entre ciência e valores, ao realismo científico e a vida e obra de Galileu. Faleceu no ano de 2011.

Kuhn e sua obra de 1962, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (KUHNS, 2006), sofreram diversas críticas e acusações de irracionalidade, especialmente de filósofos como Karl Popper e Imre Lakatos, cujas teses buscavam salvaguardar a racionalidade da ciência. Suas obras posteriores, inclusive seu ensaio sobre ciência e valores de 1973, buscaram atenuar os aspectos que suscitavam tais críticas. Esse esforço gerou, ao menos, dois tipos de reação entre os filósofos que se seguiram. Alguns, como Larry Laudan, desapontados, notavam muitas fragilidades nos novos e abrandados argumentos de Kuhn (LAUDAN, 1984). Já McMullin fez parte do grupo daqueles que ainda enxergavam em Kuhn um dos maiores representantes de uma classe de pensadores dispostos a abrir mão da racionalidade e da objetividade da ciência, em nome de uma desconstrução completa do positivismo lógico. Assim, McMullin construiu sua tese – uma defesa da objetividade e do realismo crítico por meio das relações entre ciência e valores – por vezes em oposição e crítica a certas posturas de seu antecessor.

Embora a área de educação em ciências promova reiteradamente aproximações de questões inerentes à filosofia da ciência, poucas pesquisas e reflexões têm se apropriado das questões axiológicas da ciência e de suas discussões no âmbito filosófico. Por tal motivo, o presente trabalho busca, além de apresentar essa tendência na filosofia da ciência e os trabalhos seminiais de Kuhn e McMullin, endereçar algumas questões de interesse elementar à educação científica. Quais as contribuições que a análise da relação entre ciência e valores pode trazer para a área? O que ela pode propiciar em termos de ensino e aprendizagem sobre e de ciências?

## 1.2 VALORES NA CIÊNCIA

A relação entre ciência e valores pode ser abordada de múltiplas maneiras. Em geral, admite-se amplamente essa relação no que diz respeito aos objetivos, ao ethos ou às aplicações da ciência. Certamente, sendo uma atividade humana coletiva, inserida em um contexto social mais amplo, a ciência pode e deve se preocupar com tais tipos de valores. Em seus estudos, cientistas e pensadores da ciência vêm se perguntando, desde a Antiguidade, quais seriam os valores que a ciência deve assegurar,

enquanto finalidades da atividade. Aristóteles afirmava a necessidade de se compreender a natureza em termos de suas causas. Para ele, o valor da ciência, ou filosofia natural, era basicamente contemplativo, e tal contemplação visava à verdade, como “conformidade entre mente e mundo” (McMULLIN, 2000, p. 553). Vários séculos mais tarde, e em um novo paradigma filosófico e científico, Francis Bacon defendia ser a manipulação da natureza – e, portanto, previsões precisas das hipóteses científicas – o objetivo ou valor essencial da ciência. Atualmente, para McMullin (2000), as duas concepções – contemplativa e pragmática – de objetivos e valores da ciência podem ser encontradas em distintas áreas de investigação.

Já a tradição mertoniana da sociologia da ciência focou a relação entre ciência e valores como um código de conduta dos cientistas, ou o que foi denominado o ethos da ciência. De natureza sociológica, são valores inerentes à atividade e à interação – aqueles comportamentos que os praticantes da ciência supostamente buscam de forma incansável. Os valores sugeridos por Robert Merton e sua escola são universalismo, comunismo, desinteresse, ceticismo organizado, originalidade, individualismo e a neutralidade emocional (CUPANI, 1998). A influência positivista é bastante clara, o que rendeu à sociologia da ciência mertoniana uma série de críticas (McMULLIN, 2000; CUPANI, 1998).

A relação entre ciência e valores também pode ser compreendida em termos das aplicações do conhecimento produzido – e esse é, em geral, o tema de cursos sobre ciência e valores humanos (LAUDAN, 1984). Juízos de valor são feitos insistentemente, sobretudo quando descobertas científicas têm o poder de provocar mudanças sociais, econômicas e políticas. Por envolver a esfera ética, geralmente essa abordagem da relação é bastante sofisticada e aberta a debates interdisciplinares.

Contudo, essas concepções de ciência e valores, em geral, dizem menos sobre a atividade científica e seus métodos, e mais sobre suas consequências e ideais. Mesmo que se admita que tais objetivos, código de ética e aplicações do conhecimento envolvam (juízos de) valor, ainda é possível, sob seus prismas, salvaguardar a objetividade iluminista da ciência – de que o conhecimento científico é uma aproximação cada vez maior à compreensão dos fenômenos naturais. Ademais, é ainda possível defender que o conhecimento científico seja oriundo de uma metodologia que prescindir de juízos de valor.

Valores, no entanto, também podem ser compreendidos como virtudes, ou aspectos, características de um determinado objeto. Para a compreensão da competência desses tipos de valores na metodologia da ciência, a escola positivista promoveu a distinção entre suas variadas

concepções. Valores poderiam ser tomados ou como emoção ou como característica, ou seja, passaram a ser compreendidos como valores emotivos e valores característicos, respectivamente. Os valores emotivos são subjetivos – dependem de quem observa; não são realmente características do objeto observado. A filosofia da ciência positivista excluía taxativamente a possibilidade da entrada de tais valores na ciência, reserva compreensível, segundo McMullin (1983, p. 5). “Quando ‘ideologia’ é compreendida como uma sistematização de tais valores [emotivos], ela automaticamente se torna uma ameaça à integridade da ciência.”

Apesar da exclusão dos valores emotivos, era permitido aos valores característicos um papel na construção da ciência – eles, afinal, diriam respeito a características da entidade que se investiga, isto é, seriam objetivos, impessoais. Esses valores, no entanto, poderiam ser abordados, ainda, de duas maneiras: (a) julgados, medidos – ou seja, avaliados; ou (b) julgados quanto a serem realmente valores e a importarem para os fins desejados – ou seja, valorados. Assim, para os positivistas, somente aquilo que poderia ser avaliado ou medido era aceitável; ações como

valorar ou avaliar quando o valor característico não é bem definido ainda deveriam ser rigorosamente excluídas da ciência. Tais juízos de valor são necessariamente subjetivos; eles envolvem decisões não regradas, e, portanto, têm um elemento de arbitrariedade. São normas individuais humanas que invadem o que deveria ser idealmente (se for propriamente científico) um mapeamento impessoal de proposições sobre o mundo (McMULLIN, 1983, p. 6).

A partir da segunda metade do século XX, a tradição positivista sofreu críticas paulatinas em diversas de suas bases, inclusive na que excluía certos valores da ciência. Em primeira instância, a noção do verificacionismo, um dos alicerces dessa tradição, abria espaço para a discussão axiológica. Afinal, experimentos, mesmo controlados, envolvem ajustes de gráficos, determinação de número ideal de observações e extrapolações, além, é claro, de interpretações. Seriam espaços na suposta metodologia neutra da ciência em que cientistas deveriam certamente proceder com juízos de valores. Filósofos e cientistas positivistas, contudo, pareciam não dar importância,

defendendo que as leis eram tentativas de aproximação com a realidade (McMULLIN, 1983).

Com o episódio emblemático da história da filosofia da ciência conhecido como debate Quine-Carnap<sup>2</sup>, abriu-se precedente para questões axiológicas mais acentuadas na ciência, que de fato ocorreram com o ocaso do positivismo. Todavia, por alguns anos os filósofos pós-positivistas evitaram analisar a relação intrínseca entre a marcante crise na objetividade na ciência iniciada na década de 1960 e a questão do papel dos valores na atividade científica (McMULLIN, 1983). Thomas Kuhn, entretanto, não se absteve. Conquanto não fosse parte explicitamente central de sua filosofia, o físico e filósofo apresentou o papel desempenhado pelos juízos de valor na escolha teórica, dentro dos parâmetros de sua concepção de ciência.

### 1.3 VALORES NA ESCOLHA TEÓRICA

As concepções de Thomas Kuhn sobre ciência normal e revoluções científicas provocaram a crítica de diversos filósofos da ciência, na década de lançamento de seu primeiro livro, que miraram especialmente no que alegavam ser aspectos de irracionalidade e subjetividade na ciência. Com o objetivo de contra-argumentar seus críticos especificamente em relação às alegações, Kuhn (2009) expõe o que entende serem valores da atividade científica, e cujos juízos têm papel importante, mas não definitivo, na escolha teórica.

Em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (KUHN, 2006), Kuhn propõe que cientistas aderem a um ou outro paradigma concorrente não apenas em função de provas objetivas, como gostariam os

---

<sup>2</sup> Debate travado entre o positivista Rudolf Carnap e o crítico dessa filosofia, Willard van Orman Quine. Carnap defendia uma dicotomização entre questões ontológicas na ciência e epistemológicas. Para ele, questões de ordem prática, tais como “existem entidades abstratas?” eram questões externas, que determinavam o sistema linguístico para as questões internas, tais quais “como se comportam elétrons?”. Quine, por sua vez, refutava a dicotomia do positivista, enfatizando a ciência como um corpo coeso; a experiência, segundo ele, mostrava as imperfeições não apenas de determinadas afirmações científicas, mas do corpo teórico como um todo. Apesar de ambos os filósofos não mencionarem explicitamente, seu debate abre espaço para o papel dos valores na ciência – pois as questões defendidas por Carnap como extra-científicas, e contra-argumentadas por Quine, envolvem necessariamente juízos de valor.



positivistas. Para explicar como isso ocorre e, ainda assim, esquivar-se das acusações de irracionalidade, Kuhn (2009) relembra certos critérios que, antes dele, eram compreendidos como regras típicas da atividade científica – e aspectos do conhecimento por ela produzido.

Ele escolhe cinco dessas características: exatidão, consistência, alcance, simplicidade e fecundidade. Uma teoria é exata<sup>3</sup> quando há um amplo acordo entre teoria e observações. É considerada consistente quando mostra consonância com ela própria (consistência interna) e com outros conhecimentos (consistência externa). Uma teoria de longo alcance consegue ser aplicada além da teoria ou subteoria para a qual foi desenvolvida. A simplicidade de uma teoria, para Kuhn, reside em sua capacidade de organizar conhecimentos isolados ou confusos. Uma teoria é considerada fecunda quando abre possibilidades para desvendar novos fenômenos, ou propiciar a compreensão da relação entre fenômenos antes desconhecida. Kuhn (2009, p. 365) reconhece a importância dessas cinco características para o conhecimento científico: “juntamente com outras do mesmo gênero, elas fornecem a base partilhada para a escolha teórica”.

Contudo, Kuhn lembra que esses critérios, por si só, não são capazes de propiciar uma escolha teórica inequívoca. Individualmente, não são precisos, pois dois ou mais cientistas podem discordar do grau de suas aplicações em situações concretas; quando utilizados de forma articulada, podem provocar problemas de prioridade, gerar conflitos entre eles. Assim, Kuhn defende que os critérios, apesar de supostamente objetivos, dependem grandemente do cientista que os adota, tendo significados diferentes para diferentes estudiosos. A maneira como certo cientista compreende cada um desses critérios também depende de seu contexto, não apenas cognitivo e científico, mas também social, cultural, além de suas subjetividades. Enfim, Kuhn (p. 369) conclui que seu “ponto é, portanto, que toda escolha individual entre teorias rivais depende de uma mistura de fatores objetivos e subjetivos, ou de critérios partilhados e individuais”. Esses critérios, que

influenciam decisões, sem especificar o que devem ser essas decisões, são familiares em muitos aspectos da vida humana. Em geral, contudo, não se chamam critérios ou regras, mas máximas, normas ou valores. [...] Naturalmente, estou a sugerir que os critérios de escolha com que comecei funcionam não como regras, que

---

<sup>3</sup> ‘Precisa’ é outro termo utilizado por Kuhn para ‘exata’.

determinam a escolha, mas como valores, que a influenciam (KUHN, 2009, p. 374 – 375).

Dessa maneira, é possível caracterizar melhor as dificuldades que os filósofos encontravam em extrair, da articulação e da combinação desses critérios, um algoritmo partilhado de escolha – eles são valores, ambíguos tanto individual quanto coletivamente. “Mas eles especificam muita coisa: o que cada cientista deve considerar ao atingir uma decisão, o que pode e não pode considerar importante, e o que se lhe pode legitimamente exigir como base para a escolha que fez” (KUHN, 2009, p. 375).

Para ele, essa mudança de perspectiva proporciona a compreensão, por exemplo, do tempo que leva a consolidação de uma nova teoria, ou da adesão da maior parte da comunidade científica a um paradigma. Caso fossem critérios rígidos e perfeitamente objetivos, não conseguiriam explicar o ínterim antes de a nova teria apresentar precisão e alcance suficientes.

Kuhn então se volta à questão do sucesso da ciência, e como ele pode se justificar se os critérios para a escolha teórica são, na realidade, valores. Para isso, ele lembra que, quanto maior for a comunidade, mais as possíveis diferenças individuais se distribuirão. Dentro de um certo limite, portanto, haverá uma aproximação de seu argumento ao dos positivistas, pois ele busca mostrar que existem preferências que são compartilhadas amplamente entre os cientistas. Assim, ele espera evidenciar que seu ponto de vista em verdade não evoca a tal inadequada subjetividade que seus críticos atribuíram a sua teoria.

Para finalizar, Kuhn esclarece os pontos críticos de três noções usadas por ele em suas obras, e que acredita serem seus pontos de vista diferenciados: a invariância do valor, subjetividade e comunicação parcial.

No que se refere à invariância do valor, ele sustenta que os valores não são critérios fixos – além da carga subjetiva, também têm sua concepção alterada com o curso da história, sobretudo com as mudanças teóricas. Precisão, por exemplo, tem se tornado cada vez menos qualitativa; a concordância numérica, quantitativa, tem cada vez mais peso na ciência contemporânea. Antes de Lavoisier, Kuhn defende que a concordância dos experimentos químicos com aspectos qualitativos como cor e textura era extremamente importante; após Lavoisier, outros aspectos, de natureza quantitativa, tornaram-se essenciais.

Quanto à subjetividade que a ele atribuíram, Kuhn observa que há duas concepções diferentes: a que se opõe a objetivo e a relacionada a

juízo. Para ele, as escolhas de teorias não dependem de gostos individuais – que, portanto, não podem ser discutidos – mas de juízos eminentemente discutíveis. Para Kuhn (2009, p. 382-3), apesar de esses juízos introduzirem

fatores dependentes da biografia ou da personalidade individuais a fim de tornar os valores aplicáveis, não se põe de lado quaisquer padrões de factualidade ou de realidade. [Sua] discussão da escolha teórica indicia decerto algumas limitações de objetividade, mas não pelo isolamento de elementos adequadamente ditos subjetivos. [...] A objetividade devia ser analisável em termos de critérios como precisão e consistência. Se estes critérios não fornecem todas as orientações que habitualmente esperamos deles, então o que [seu] argumento mostra pode ser o significado, e não os limites, da objetividade.

Por fim, Kuhn destaca a importância dos valores e da discussão dos juízos de valor, sobretudo daqueles tais como fecundidade e a precisão, na comunicação entre proponentes de duas teorias rivais, durante a escolha teórica. Para ele, essa discussão pode ajudar a transpor a barreira das linguagens incomensuráveis inerentes a teorias distintas.

Por mais incompreensível que a nova teoria possa ser para os partidários da tradição, a exibição de resultados concretos e tangíveis [por meio da defesa de valores como precisão e fecundidade] persuadirá pelo menos alguns deles de que devem descobrir como é que esses resultados se alcançam (KUHN, 2009, p. 384).

Nessa negociação, alguns cientistas aprenderão a traduzir entre as linguagens de um corpo teórico e outro, e outros, mais convencidos dos méritos da nova teoria, passarão por um processo de conversão para a nova teoria. Defendendo que valores desempenham papel de norteadores e até mediadores de escolha teórica entre teorias incomensuráveis, Kuhn reitera sua concepção de objetividade da ciência, na tentativa de se esquivar das alegações de seus críticos.

## 1.4 VALORES EPISTÊMICOS

Para defender sua tese acerca do papel desempenhado por valores na ciência, Kuhn listou cinco valores característicos de uma boa teoria, que, segundo ele, já eram tomados como critérios positivistas antes dele: exatidão, consistência, alcance, simplicidade e fertilidade. Buscando compreendê-los, McMullin (1983) fez neles algumas revisões.

Ele enfatiza alguns aspectos desses valores. Precisão preditiva, em suas palavras, exige certa cautela, especialmente nas fases iniciais de uma teoria; mesmo assim, uma boa teoria, com o tempo, deve mostrar-se precisa. No caso do valor que Kuhn chama de consistência, McMullin compreende-o como dois valores distintos: coerência interna, ou seja, consistência lógica dentro da própria teoria; e consistência externa, que é a articulação com o corpo canônico já existente. Longo alcance, de Kuhn, é chamado por McMullin de poder unificador, significando a capacidade de uma teoria proposta ter conexões com outras áreas de pesquisa com os mesmos objetos.

McMullin considera fertilidade e simplicidade, os dois outros valores elencados por Kuhn, bastante delicados. Mesmo reconhecendo a importância da fertilidade, o filósofo reitera que as possibilidades de julgá-la dependem de longo prazo. Para ele, julgar uma teoria recém-proposta por sua fertilidade é tarefa complexa, dada sua provável incipiência e subdeterminação pelas evidências. Já a simplicidade, para ele, é um dos valores que guarda maior proporção de subjetividade; a decisão de empregá-la ou não na escolha teórica não afeta o caráter epistêmico do conhecimento.

E é sobre o caráter epistêmico do conhecimento científico e também dos valores invocados na construção desse conhecimento que McMullin (1983, p. 18) se centra. Para ele, com o tempo, a atividade científica desenvolveu, de forma tentativa, uma lista de critérios que propicia a confiabilidade do conhecimento.

Chamarei tais valores característicos de epistêmicos, pois se presume que promovam o caráter de verdade da ciência, seu caráter como o conhecimento mais seguro a nós disponível sobre o mundo que procuramos compreender. Um valor epistêmico é aquele que temos razão para acreditar que, se perseguido, ajudará na busca por tal conhecimento.

Ao argumentar que os valores epistêmicos, enquanto aspectos de uma boa teoria científica são apreendidos pelos cientistas com o tempo e a experiência, e que os valores não precisam, nem devem ser mutuamente excludentes, McMullin (1983, p. 22) defende a objetividade da ciência como o produto dos juízos de valor. Ele traz o exemplo das astronomias física e matemática para ilustrar a continuação de seu argumento. McMullin compreende que, por muito tempo, defendeu-se que os valores característicos inerentes a cada uma eram incompatíveis; com Galileu, no entanto, esses valores, de tradições física e matemática, passaram a ser característicos de uma mesma teoria. Assim, segue que “[...] os valores característicos que os cientistas esperam que uma teoria incorpore são um testemunho da objetividade da teoria, assim como do envolvimento da subjetividade do cientista no esforço para alcançar tal objetividade” (McMULLIN, 1983, p. 22).

Ele enfatiza outra defesa, de natureza realista, de como os valores podem estar ligados à objetividade do conhecimento científico. Há algumas áreas da ciência que têm forte correspondência com o mundo físico, e é sobre essas áreas que ele constrói seu argumento de retrodução<sup>4</sup>. As teorias estruturantes da geologia e a biologia celular, por exemplo, que apresentam impressionantes graus de confiabilidade e precisão, são produtos de juízos de valores epistêmicos. Ou seja, o sucesso das teorias solidamente construídas é atestado do grau de verdade do corpo teórico em que elas se baseiam. Naturalmente, o posicionamento realista de McMullin é assumido cautelosamente; essa postura epistemológica só serve para uma retrodução como a empreendida por ele, quando a teoria em questão não for demasiadamente subdeterminada pelas evidências.

Todavia, os valores epistêmicos, por si só, não são determinantes para a escolha teórica; em virtude disso, valores extracientíficos (que ele chama de não-epistêmicos), recorrentemente desempenham papel na avaliação das teorias. Novamente, surge a questão de como a objetividade da ciência pode existir nesses termos. Para McMullin, é no processo de escolha teórica, feito coletivamente, que a objetividade é salva. Pares tentam duplicar os experimentos, estender a teoria, buscam convergências com outras áreas, investigam o pensamento divergente, entre outras atitudes. Assim, os processos com que se produz conhecimento científico são eficientes “não apenas em limitar os efeitos de fraudes e descuidos,

---

<sup>4</sup> Também denominado, na filosofia, de argumento ou método de abdução, é uma forma de inferência de hipóteses, que busca a melhor explicação. Sua forma lógica é a seguinte: observado um conjunto de dados B, com A podendo explicar B, supõe-se que A, ao ser verdadeira, explica a hipótese B.

mas também de ideologias [...] como intrusões distorcíveis no lento processo de formação de nosso pensamento sobre o mundo” (McMULLIN, 1983, p. 23).

## 1.5 DIFERENÇAS, SEMELHANÇAS E POSTURAS EPISTEMOLÓGICAS

De acordo com suas próprias declarações, Kuhn e McMullin estariam em posições opostas no que concerne à essência do conhecimento. Alegando-se um antirrealista, Kuhn e sua filosofia rejeitavam “qualquer aplicação não trivial de uma teoria de correspondência entre verdade e ciência” (ROUSE, 1981, p. 270). McMullin, por sua vez, fez parte de um grupo de filósofos que, já na década de 1970, passada a agitação inicial causada pela obra de Thomas Kuhn, empenharam-se na defesa do realismo científico, em uma tentativa pós-kuhniana de, por meio dessa visão da essência do conhecimento, enfraquecer outras bases do positivismo (ROUSE, 1981).

Naturalmente, as profícuas ideias de Kuhn repercutiram grandemente entre os pensadores que o sucederam – inclusive na questão axiológica da ciência. Consequentemente, sua influência pode ser identificada nas ideias de McMullin – que, paradoxalmente, não compartilhava de suas concepções ontológicas.

Pode-se dizer que entre as proposições de Kuhn e McMullin há também muitas semelhanças – e uma das primeiras reside na maneira como entendem que os valores se estabelecem dentro de um cânone científico. Para Kuhn (2009, p. 364), a escolha teórica se deve ao fato de que cientistas partilham valores, “em virtude do treino que lhes faculta a pertença a uma ou outra comunidade de especialistas”. McMullin (1983, p. 20) também defende que os valores típicos da ciência são adquiridos com a prática, são aprendidos. “Cientistas aprendizes aprendem-nos não por um livro de métodos, mas ao assistir aos outros exercitarem-nos. Eles aprendem o que esperar de uma ‘boa’ teoria”. Com o tempo, tais cientistas desenvolvem suas próprias axiologias e as testam em relação às de outros colegas e à própria história da ciência.

Essa identificação da origem dos valores para ambos os filósofos é bastante simbólica do momento histórico-filosófico em que viviam, quando a ciência passava a ser veementemente defendida enquanto uma prática coletiva, ainda que de um grupo heterogêneo. Assim, suas teses sustentam que existe um conjunto de características que os cientistas, enquanto grupo, esperam de suas teorias – e por isso são adquiridas com a prática, historicamente –, mas a maneira como cada cientista vai avaliar

ou valorar tais características dependerá tanto de questões objetivas quanto de subjetivas.

Resta a questão acerca da justificação filosófica dessa defesa utilitária da instauração e manutenção de um determinado conjunto de valores inerentes à ciência. Nesse ponto, tanto Kuhn quanto McMullin concordam que buscar essa justificação seria buscar a solução para o problema da indução de Hume-Popper – ou seja, para eles, basta o respaldo histórico do funcionamento desses valores. Nas palavras de McMullin (1983, p. 21),

Nós aprendemos gradualmente dessa experiência [do desenvolver da ciência] que os seres humanos têm a habilidade de criar esses construtos que chamamos de ‘teorias’, que podem conceder um alto grau de precisão em prever o que acontecerá, assim como explicar o que já aconteceu, no mundo a nossa volta. Foi descoberto, posteriormente, que essas teorias também podem incorporar outros valores, tais como coerência e fertilidade, e que a insistência nesses outros valores possivelmente aumenta as chances, no longo prazo, da realização do primeiro objetivo, o da precisão empírica.

Enquanto Kuhn não se aventura em tecer mais considerações sobre o assunto, McMullin prefere lhe dar continuidade, sinalizando haver outro modo de validação dos valores que não apenas o pragmático. Para isso, é necessária a aplicação de um método retrodutivo, em um empenho filosófico para demonstrar a relação causal entre valores, tais como a fertilidade e coerência, e a potencialização da precisão. Para ele, assim é possível demonstrar que valores como aqueles por ele elencados são um testemunho da objetividade do conhecimento científico. Porém, o filósofo não avança em sua sinalização; pelo contrário, estende apenas uma espécie de convite para que seus pares desenvolvam essa tese filosófica retrodutiva, afirmando evasivamente que “não é difícil fazê-lo” (McMULLIN, 1983, p. 21).

Especialmente caro aos realistas críticos (CHIBENI, 1996), o método de retrodução é defendido por McMullin diversas vezes, como argumento para sua tese realista. Logicamente, ele é cauteloso ao afirmar que apenas algumas teorias científicas podem ter seus valores avaliados a partir desse método, excluindo aquelas demasiadamente subdeterminadas pelas evidências, assim como aquelas cujas “implicações ontológicas não são suficientemente claras (como na mecânica clássica)” (McMULLIN,

1983, p. 22). Interessantemente, e com a mesma perspicácia com que se esquivava de desenvolver uma tese de justificação para sua lista de valores, ele faz as ressalvas pertinentes, desviando dos focos costumeiros de críticas antirrealistas – os problemas ontológicos e de subdeterminação das teorias (SILVA, 1998).

Assim como Kuhn, McMullin busca na história da ciência os fundamentos de seus argumentos. Tendo ambos, em suas trajetórias acadêmicas, focado na mudança entre os sistemas ptolomaico e copernicano – consagrada com as ideias de Galileu – esse é o exemplo de que lançam mão para advogar suas perspectivas. É interessante notar, no entanto, uma diferença fundamental de interpretação histórica por parte de ambos. Enquanto neste ensaio específico, Kuhn (2009) procura mostrar que certos valores tiveram significados diferentes para ptolomaicos e copernicanos – o que foi crucial para Galileu –, McMullin (1983) defende que Galileu conseguiu uma espécie de unificação dos valores das astronomias física e matemática, sendo esse seu sucesso. Em princípio, as duas defesas não se demonstram incompatíveis; uma análise cautelosa, no entanto, pode mostrar que a concepção de valores de Kuhn, mais fluida e adaptável – fruto de sua relação com as questões ontológicas do conhecimento científico – permite compreender que houve, historicamente, uma mudança contextual que permitiu a versatilidade desses valores, em especial para Galileu. A abordagem de McMullin, também fruto de sua concepção de essência do conhecimento, é conseqüentemente mais normativa, engessada e acaba, inadvertidamente, ignorando os fatores contextuais que, implicitamente, tiveram influência para a construção da concepção de universo do emblemático físico e filósofo italiano.

As listas de valores propostas por Kuhn e McMullin também abrigam muitas semelhanças, fato ressaltado pelo irlandês: “Reverei sua lista [de Kuhn] apenas um pouco e adicionarei alguns comentários” (McMULLIN, 1983, p. 15). Assim, as características típicas do conhecimento científico, presentes na lista kuhiana “não porque sejam exaustivas, mas porque são individualmente importantes e em conjunto suficientemente variadas para indicar o que está em jogo” (KUHN, 2009, p. 365) – exatidão, consistência, alcance, simplicidade e fecundidade – transformam-se, para McMullin, em precisão preditiva, coerência interna, consistência externa, poder unificador, fertilidade e, de maneira problemática, simplicidade. Há algumas claras diferenças terminológicas; enquanto Kuhn alterna exatidão e precisão, McMullin prefere precisão preditiva; coerência kuhiana torna-se dois valores distintos para o



filósofo irlandês – coerência e consistência. McMullin prefere fertilidade a fecundidade, termo escolhido por seu antecessor.

Além da terminologia, há algumas diferenças notórias nas definições das características semelhantemente elencadas. Poder unificador e alcance, apesar de similares, não têm, a rigor, a mesma definição. Kuhn (2009, p. 365) entende por alcance 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 (1983, p. 15) interpreta o valor do poder unificador como “a habilidade de congregar áreas de pesquisa antes distintas”. Como não há garantias lógicas de que uma teoria que se estende para além das observações para as quais foi projetada seja capaz de unificar as áreas das primeiras e últimas observações, de fato, alcance e poder unificador não podem ser considerados o mesmo valor – embora estejam epistemologicamente conectados.

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 (p. 16), é um valor de natureza mais complexa, pois nem sempre pode ser avaliado nos primeiros momentos de escolha teórica: “aqui, é a comprovada habilidade em longo prazo de uma teoria ou programa de pesquisa gerar adições e modificações frutíferas que tem que ser levada em consideração”. Essa é uma ressalva bastante pertinente que não é aventada por Kuhn. 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. Lembra que simplicidade é uma construção pragmática, que pode estar ligada a questões estéticas ou de conveniência. Ainda, em sua perspectiva, a manutenção ou não do valor da simplicidade não acarreta na preservação do caráter epistêmico do conhecimento científico.

A lista de valores oferecida por McMullin (1983, p. 22) é, em suas palavras, “um testemunho da objetividade da teoria, assim como do envolvimento da subjetividade do cientista no esforço de atingir essa objetividade”. A objetividade que o filósofo procura defender, segundo ele mesmo, são “as visões tradicionais de objetividade do conhecimento científico” (McMULLIN, 1983, p. 4). Tradicionalmente, a objetividade seria a busca por um conhecimento controlado, testado, reproduzido, ou ainda, em uma construção mais baconiana, “a representação adequada de fenômenos, sendo desapegado e neutro em relação ao objeto de pesquisa” (CARRIER, 2013, p. 2549). Assim, o realismo de McMullin é evidência de que sua concepção de objetividade, além da confiabilidade do

conhecimento, está relacionada com a característica do objeto de estudo, com uma relação de aproximação entre objeto estudado e representação desenvolvida. Como ele mesmo reitera, há áreas na ciência em que há “boas razões para acreditar que os modelos postulados pelas nossas teorias correntes nos dão uma confiável, apesar de ainda incompleta, compreensão das estruturas do mundo físico” (McMULLIN, 1983, p. 22).

Enquanto McMullin se apegua às tradições, Kuhn engendra-se por uma definição fugidia de objetividade – embora ela seja um dos temas título de seu ensaio. Para ele, o ideal de objetividade de seus críticos está intimamente relacionado com a distinção entre contextos de descoberta e justificativa. Invocando espirituosamente o que ele chama de pedagogia da ciência (p. 371), ele contra-argumenta lembrando que a história da ciência, diferentemente daquela feita para propósitos didáticos, mostra que, em situações de escolha teórica, sempre houve motivos suficientemente objetivos em favor de teorias concorrentes. Sua definição de objetividade, portanto, não se dá “pelo isolamento de elementos adequadamente ditos subjetivos”, que existiriam apenas no contexto da descoberta. Pelo contrário, defende que as subjetividades que entram nas valorações dos cientistas não afastam a possibilidade da objetividade: para ele, os valores envolvidos na escolha teórica podem ser o próprio significado de objetividade (KUHN, 2009, p. 382-383).

Parece que, mesmo partindo de pontos diferentes, Kuhn e McMullin se encontram em uma questão em comum: apesar das subjetividades que carregam, os valores são testemunho da objetividade do conhecimento. Suas concepções de objetividade, no entanto, os diferenciam profundamente, embora não de modo fundamental – efeito, novamente, de suas posturas epistemológicas. Se suas visões ontológicas do conhecimento científico são bastante distintas. Há, no entanto, um debate acerca do tipo de antirrealismo advogado – ou do tipo de realismo permitido – por Kuhn, não apenas explicitamente, mas nas entrelinhas de seus trabalhos. Ghins (1998) aponta diversas passagens de *A Estrutura das Revoluções Científicas* que reiteram ambas as posições e sinaliza que, dentro de alguns limites, Kuhn pode ser considerado um realista global – alguém que, apesar de não acreditar na correspondência entre ciência e natureza, ainda assim concebe que essa última seja uma entidade com uma ontologia própria. Naturalmente, ele sinaliza as diversas contradições e ambiguidades no discurso do filósofo e as mudanças que sofreu com o tempo. Já Rouse (1981, p. 288) sustenta que, pela influência exercida por Martin Heidegger em sua obra, Kuhn tem como referência a noção de verdade construída pelo filósofo alemão, qual seja, que “[n]ão há uma verdade independente das práticas que permita que uma teoria

(total) corresponda ao mundo; o mundo é sempre mais do que pode ser revelado dele e todas as teorias são subdeterminadas por ele”. Para o autor, isso não significa necessariamente ser irracional ou idealista; apenas, uma visão diferenciada da realidade onde se desenvolve o conhecimento científico. Ele (ROUSE, 1981, p. 288) justifica:

A filosofia da ciência de Kuhn é um esforço para entender a atividade científica em andamento como aberta à sua própria ruptura, por meio de crises e revoluções. Isso explica como Kuhn consegue recusar a exigência realista de uma verdade livre de seu contexto como a maior justificação para a maior validade ou invalidade da prática científica atual. A pesquisa científica, em seu sucesso e em sua possibilidade indefinidamente aberta de fracasso parcial já é a própria verdade.

Se não se pode categorizar Kuhn no extremo antirrealista, tampouco se pode fazer o mesmo com o realismo de McMullin, e nesse caso, ele mesmo se defende, advogando um realismo científico crítico. “De fato, estou tentado a dizer (embora isso seja muito forte), que se elas [as teorias científicas] forem verdadeiras ou falsas, elas não serão muito úteis como base de um programa de pesquisa” (McMULLIN, 1984, p. 36). Desse modo, o filósofo se afasta do realismo ingênuo, demonstrando compreender e também defender que a ciência não veria progresso se revelasse (ou não) o âmago da natureza. Ele, apesar disso, é rápido em construir uma versão do realismo, centrado no poder da fertilidade metafórica. Para ele, a fertilidade que permeia e permite a construção de modelos, que posteriormente se mostram aproximadamente verdadeiros em relação a novas observações, permitidas por novas tecnologias, e que são capazes de transpor uma sucessão de teorias, é argumento para o tipo de realismo crítico que propõe. Mais uma vez, ele reitera que isso, apesar de raramente ocorrer em áreas muito subdeterminadas pelas evidências ou problemáticas ontologicamente, como as mecânicas quântica e clássica, intercorrem com alguma frequência em áreas como a geologia (McMULLIN, 1984).

O que se pode notar, portanto, é que tanto o realismo de McMullin quanto o antirrealismo de Kuhn são nuançados, e seus entendimentos do que seria a objetividade do conhecimento científico – inclusive a fugaz definição de Kuhn – são profundamente influenciados por isso. E é por conta de sua defesa do realismo que McMullin assinala como epistêmicos os valores que tomam parte na escolha teórica – isto é,

características do conhecimento que atestam sua relação com a realidade – algo que Kuhn aparentemente não vê necessidade em fazer.

McMullin entende a armadilha em que se posiciona ao chamar tais valores de epistêmicos. A escolha de sua lista de valores, apesar de justificada histórica e pragmaticamente, pode apresentar problemas lógicos. “Certamente, essa decisão [de enumerar e classificar determinados como valores epistêmicos] é, ela mesma, um juízo de valor e há um perigo óbvio de um regresso vicioso neste ponto” (McMULLIN, 1983, p. 19, grifo adicionado).

## 1.6 VALORES, REALISMO E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

A tese realista parece ser tão penetrante que, como discute Ghins (1998), consegue permear até mesmo as obras de Thomas Kuhn, cujo passado como físico pode ter influenciado nessa intrusão. Mas, se o realismo aparenta ter alcance consideravelmente amplo entre cientistas (McMULLIN, 1984), ele está muito longe de ser consenso entre filósofos da ciência – e, como visto até aqui, gera profícuos debates, até mesmo em relação à axiologia da ciência. Como a área de educação científica tem a tradição de buscar influências tanto na filosofia quanto na própria ciência, naturalmente o realismo tem sido aporte ou pauta, direta ou indireta, de diversos trabalhos.

O realismo ingênuo tem sido detectado com frequência pelas pesquisas destinadas a traçar perfis epistemológicos dos atores da educação científica. Greca e Santos (2005) analisam os processos de modelação na química e na física e as concepções de realismo e realidade associadas aos modelos de cada área. Pinto e Zanetic (1998) observaram que o perfil realista ingênuo é um dos ocorrentes entre alunos do ensino médio; já Lôbo (2007) observa o quanto esse posicionamento epistemológico ainda persiste no ensino de química, e sugere que contribuições interessantes podem ser feitas para superá-lo com a utilização do conceito de perfil conceitual. Oki e Moradillo (2008) apresentam um estudo de caso sobre o ensino de história da química e observam que, apesar das proveitosas discussões acerca da natureza da ciência fomentadas pela disciplina, houve dificuldades na superação da concepção realista ingênuo dos alunos. Andrade, Zylbersztajn e Ferrari (2002), envolvidos com reflexões relacionadas a analogias e metáforas, compreendem o realismo ingênuo como um obstáculo epistemológico.

Todos os trabalhos mencionados estão subsidiados na filosofia de Bachelard, que, como fica claro, opõe-se ao realismo ingênuo tão presente na educação científica. Outros trabalhos posicionam-se

semelhantemente, embora referenciados em teses filosóficas mais difusas, como o de Medeiros e Bezerra Filho (2000), que notaram a prevalência da convicção realista ingênua entre professores do ensino médio e da disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física, e o de Pietrocola (2002) que, por sua vez, observa a relação entre empirismo e realismo ingênuo nos livros didáticos, defendendo serem simbólicos também da compreensão tácita desses materiais acerca da relação entre física e matemática.

Essas pesquisas têm como premissa a insustentabilidade da concepção realista ingênua para um tipo diferenciado de educação científica, que preze por novas maneiras de relacionamento entre professor, aluno e conhecimento. Portanto, essas investigações mostram-se a par dos avanços na filosofia, onde o realismo ingênuo é letra morta. No entanto, diversos tipos de realismo científico crítico ainda são defendidos no âmbito filosófico. Não é prática rara entre os periódicos de ensino de ciências a publicação de artigos de filósofos sobre questões pertinentes à educação científica. Silva (1998), com seu esclarecimento sobre realismos e antirrealismos, é exemplo dessa aproximação sistemática, sobretudo em relação à essência do conhecimento científico, em discussão neste trabalho.

Os notórios debates travados entre realistas e antirrealistas mostram sua fertilidade – e obstáculos – para a área de educação científica, como aponta Barra (1998). Assim sendo, investigações como as feitas por Pietrocola (1999), Cupani e Pietrocola (2002) e Westphal e Pinheiros (2004) buscam explorar as possibilidades do realismo de Mario Bunge para o ensino de ciências. Por outro lado, e de maneira bastante ponderada, Greca e Freire (2004) mostram que, mesmo tendo em conta as contribuições do realismo, há que se considerar as perspectivas propiciadas por concepções mais relativistas da ciência, em especial da filosofia pós-moderna e do programa forte da sociologia da ciência.

Tendo em consideração as críticas ao realismo ingênuo, muitos trabalhos buscam referência nas ideias de Gaston Bachelard; sobre as defesas do realismo científico crítico, vê-se uma predominância de investigações com base nas concepções filosóficas de Mario Bunge. Fica claro, portanto, que alguns acadêmicos em ensino de ciências, apesar de conhecedores das fraquezas do realismo ingênuo, mantêm-se firmes em relação à tese realista crítica.

A busca por esse aporte, como faz Pietrocola (1999), tem relações estreitas com a crítica ao construtivismo educacional, empreendida primeiramente por Matthews (1994). Esse aporte teórico educacional, que tem grande predominância nas pesquisas em ensino de

ciências (FERNANDES; MEGID NETO, 2012), esteve no centro de um debate acerca do seu esvaziamento e sua posterior defesa (QUEIROZ; BARBOSA-LIMA, 2007). Com a intenção de criticar o construtivismo, Laború e Silva (2000) empreendem uma análise comparativa entre o relativismo educacional no ensino de física, que, assim como Matthews (1994), alegam ser típico dos construtivismos, e o suposto objetivismo na física – simbolizado, segundo os autores, pelas palavras de dois físicos nobelistas, Steven Weiberg e Richard Feynman.

Em meio a argumentos contraditórios, Laború e Silva (2000) tentam defender o realismo, embora, tendo em vista as controvérsias filosóficas acerca do tema, definam que sua intenção é a defesa do objetivismo. Interessantemente, nesse artigo aparecem questões relevantes para a discussão sobre ciência e valores; baseados no que advogava Weinberg, eles listam uma série de aspectos – alcance explicativo, universalidade, força preditiva, profundidade, logicidade, consistência, coerência, entre outros –, que ora chamam de valores, ora de compromissos heurísticos, que fazem parte das escolhas teóricas na ciência. No entanto, não buscam aportes qualificados para a discussão – como McMullin seria – e incorrem, inconsciente e recorrentemente, em defesas do realismo ingênuo e dos critérios positivistas (em detrimento do que os pós-positivistas em geral compreendem por valores). Por certo, dada a prevalência do aporte construtivista nas investigações sobre ensino e aprendizagem de ciências (FERNANDES; MEGID NETO, 2012), essa discussão (mesmo antiga) pode se beneficiar de um diálogo mais íntimo com a filosofia da ciência.

Como visto, esses aspectos da natureza da ciência – mais especificamente, sobre a essência do conhecimento científico – têm tido bastante espaço nas produções sobre educação científica. Isso faz parte de uma tendência bastante antiga de aproximação com a filosofia da ciência, buscando incorporar discussões cada vez mais sólidas sobre a natureza da ciência. Assim, outros autores também fazem referência à relação entre ciência e valores, sem necessariamente ter o relativismo, ou qualquer antirrealismo, como alvo. Neste sentido, pesquisas como as de Villani e Pacca (1997) e Almeida e Farias (2011), por exemplo, apontam, entre outros aspectos da natureza da ciência, a relevância dos valores para os saberes docentes. Já Arruda, Silva e Laború (2001), com foco nas atividades experimentais, mencionam a importância do valor da adequação empírica para uma concepção diferenciada de laboratório didático.

Há, ainda, investigações que resultaram em estratégias didáticas que, de certa forma, tangenciam a relação entre ciência e valores, como o

trabalho de Laburú (2003), que busca, nos programas de pesquisa de Lakatos, explicitar os motivos do comprometimento dos alunos com um ou outro programa – e, conseqüentemente, seus aspectos canônicos, como os valores desses programas. Assim como ele, Pecharrmán e Pozo (2006) também procuram compreender a “epistemologia discente”.

Enquanto nenhum dos trabalhos acima citados tem preocupação primária com a relação entre ciência e valores, os trabalhos de Salvi e Batista (2008), Lucas e Batista (2011) e Batista e Lucas (2013) almejam encontrar, na tese de Hugh Lacey, um subsídio para propor estratégias didáticas centradas na discussão entre ciência e valores.

Em uma pesquisa empírica com professores de ciências, Salvi e Batista (2008) observaram as dificuldades apresentadas por esses profissionais para elencar os valores cognitivos de suas ciências e mesmo da atividade docente. De modo bastante interessante, consideram, ao final desse trabalho, a importância para a educação científica do aprofundamento nas teses dos filósofos que se debruçaram sobre o assunto.

Lucas e Batista (2011), por sua vez, mostram-se preocupados em desenvolver uma sequência didática, validada por professores de biologia, sobre a teoria da Evolução de Darwin para a última série da educação básica. Essa estratégia visa a enfatizar alguns valores cognitivos apontados por Lacey e por eles escolhidos – a saber, adequação empírica, consistência, poder explicativo, consiliência, fecundidade e simplicidade. Os autores afirmam que os professores que validaram a sequência apontaram as possíveis dificuldades estruturais para a aplicação da sequência, mas reconheceram o potencial desses valores enquanto guias epistemológicos na sequência.

Já Batista e Lucas (2013) apresentam uma estratégia didática que também envolve a investigação dos valores cognitivos na teoria da seleção natural de Darwin e salientam a proficiência dessa relação para a educação científica. Frisam, inclusive, que essa alternativa ainda não foi explorada pelas pesquisas em ensino de ciências.

De fato, não foram, e as investigações desses três pesquisadores parecem apontar para um caminho frutífero, especialmente para aqueles interessados nas possibilidades de se ensinar conteúdos de ciências por meio da história e da filosofia da ciência. Esse, que é um dos objetivos dessa linha de pesquisa, vem tendo sua possibilidade questionada, sobretudo em virtude de sua baixa corroboração empírica. No caso específico da física, por exemplo, em uma revisão bibliográfica das pesquisas empíricas de inserções de história e filosofia no ensino, Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012) observaram que, dentre os seis artigos

que tinham por objetivo melhorar a compreensão dos conceitos físicos com o auxílio de história e filosofia da ciência, quatro tiveram apenas resultados parciais.

É possível que a abordagem histórica de um conteúdo de física, seguida de uma estratégia didática que envolva o exercício de identificação dos valores cognitivos que foram essenciais naquele episódio, possa contribuir para o ensino ou aperfeiçoamento de conteúdos científicos. Como, para identificar, compreender e negociar os valores cognitivos é necessário também entender conceitos, métodos e interpretações que se pode dar a determinados fenômenos, esse tipo de estratégia tem o potencial de provocar uma atitude reflexiva em relação não apenas à natureza da ciência, como também aos conceitos e teorias propriamente ditos e suas inter-relações.

A questão que ainda permanece reside no motivo de ainda não se ter tentado tal estratégia, fato frisado por Batista e Lucas (2013). Como se viu, as investigações em educação científica, mesmo que reiteradamente referenciadas na filosofia, ainda não se aproximaram daqueles filósofos empenhados na relação ciência e valores. Nota-se que, mesmo duas teses aparentemente semelhantes e acessíveis como as de Kuhn e McMullin abrigam diferenças determinantes na maneira como veem e interagem com o mundo, o conhecimento, a realidade e a ciência e seus métodos. Não é, portanto, questão de simplesmente elencar uma lista de valores e esperar que facilmente se gere um debate em torno das escolhas teóricas que tomaram forma ao longo da história da ciência. Os valores são, eles mesmos, abertos a juízos de valor – valorações e avaliações – que podem revelar mais sobre as posturas epistemológicas (incipientes, é verdade) de professor, aluno, livro didático e – por que não? – do próprio pesquisador, do que ele está preparado para lidar. É, por conseguinte, imprescindível que trabalhos com esse aporte apresentem uma base mais ampla da filosofia por trás das ideias de cada pensador e mesmo uma contextualização histórica dessas ideias, algo que situe os pesquisadores de educação científica nessa importante corrente filosófica.

Com os devidos cuidados filosóficos, por outro lado, a abordagem de ciência e valores pode, ainda, levar ao próximo nível uma discussão que tem seu espaço na área de ensino: de realismo e relativismo, a exemplo dos diversos trabalhos que buscam argumentar contra as bases do construtivismo educacional. Pode-se notar que Kuhn e McMullin compreendiam a questão da verdade de maneiras opostas (porém não extremadas). Suas concepções podem desvelar novas nuances da questão realista na educação científica e solidificar pesquisas e reflexões que não têm visto grandes avanços e diálogos, onde nota-se que cada uma delas



defende seu ponto de vista, mantendo-se fiel a seu referencial filosófico de predileção, sem gerar a intersubjetividade proveitosa a qualquer área de conhecimento acadêmico. Uma aproximação desses debates definitivamente pode gerar uma maturidade ainda maior de área acerca de questões filosóficas, embora mantendo a salutar pluralidade epistemológica das pesquisas em educação científica.

## 1.7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. V.; FARIAS, C. R. O. A natureza da ciência na formação de professores: reflexões a partir de um curso de licenciatura em ciências biológicas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 3, p. 473, 2011.

ANDRADE, B. L.; ZYLBERSZTAJN, A.; FERRARI, N. As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, dez. 2002.

ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R.; LABURÚ, C. E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 1, p. 97, 2001.

BARRA, E. S. O. A realidade do mundo da ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. **Ciência&Educação**, v. 5, n. 1, p. 15, 1998.

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.

CARRIER, M. Values and objectivity in science: value-ladeness, pluralism and the epistemic attitude. **Science&Education**, v. 22, n. 10, p. 2547, 2013.

CHIBENI, S. S. A inferência abdutiva e o realismo científico. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 6, n. 1, p. 45, 1996.

CUPANI, A. O. A propósito do “ethos” da ciência. **Episteme: Filosofia e História das Ciências em Revista**. Porto Alegre, v. 3, n. 6, p. 16, 1998.

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, jun. 2002.

FERNANDES, R. C. A.; MEGID NETO, J. Modelos educacionais em 30 pesquisas sobre práticas pedagógicas no ensino de ciências nos anos iniciais da escolarização. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 3, p. 641, 2012.

GHINS, M. Kuhn: Realist or Antirealist? **Principia**, v. 2, n. 1, p. 37, 1998.

GRECA, I. M.; FREIRE JR, O. A “crítica forte” da ciência e implicações para a educação em ciências. **Ciência&Educação**, v. 10, n. 3, p. 343, 2004.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31, 2005.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 9ª ed., 2006.

KUHN, T. S. Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, p. 363, 2009.

LABURÚ, C. E. Análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos através de uma leitura lakatiana (uma aplicação na aprendizagem de cinemática angular). **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 7, 2003.

LABURÚ, C. E.; SILVA, M. R. Do relativismo no ensino de física ao objetivismo na física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 121, 2000.

LAUDAN, L. **Science and values: the aims of science and their role in scientific debate**. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1984.

LAUDAN, L. **O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico**. São Paulo: Editora UNESP, 2011.

LÔBO, S. F. O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. **Ciência&Educação**, v. 14, n. 1, p. 89, 2007.

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.

MATTHEWS, M. R. **History, Philosophy, and Science Teaching**. Nova York, Londres: Routledge, 1994.

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

McMULLIN, E. Values in Science. In: **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**. The University of Chicago Press, v. 2: Symposia and Invited Papers, p. 3, 1983.

McMULLIN, E. A case for scientific realism. In: LEPLIN, J. **Scientific Realism**. Berkeley, Los Angeles, Londres: University of California Press, 1984.

McMULLIN, E. Values in science. In: NEWTON-SMITH, W. H. (ed). **A companion to the philosophy of science**. Oxford: Blackwell Pub., 2000.

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino de física. **Ciência&Educação**, v. 6, n. 2, p. 107, 2000.

OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência&Educação**, v. 14, n. 1, p. 67, 2008.

PECHARROMÁN, I.; POZO, J. I. Como sé que és verdad?: Epistemologías intuitivas de los estudiantes sobre el conocimiento científico. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 2, p. 153, 2006.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213, 1999.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 89, ago. 2002.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7, abr. 1999.

QUEIROZ, G. R. P. C.; BARBOSA-LIMA, M. C. A. Conhecimento científico, seu ensino e aprendizagem: atualidade e construtivismo. **Ciência&Educação**, v. 13, n. 3, p. 273, 2007.

ROUSE, J. Kuhn, Heidegger, and scientific realism. **Man and World**, v. 14, n. 3, p. 269, 1981.

SILVA, M. R. Realismo e anti-realismo na ciência: aspectos introdutórios de uma discussão sobre a natureza das teorias. **Ciência&Educação**, v. 5, n. 1, p. 7, 1998.

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.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JR., 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. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRRN, 2012.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. A. Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências. São Paulo: **Revista da Faculdade de Educação**, v. 23, n. 1/2, p. 196, jan./dez. 1997.

WESTPHAL, M.; PINHEIRO, T. C. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências. **Ciência&Educação**, v. 10, n. 3, p. 585, 2004.

## 2 A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E VALORES CONSTITUTIVOS COMO UM NOVO HORIZONTE PARA A PESQUISA EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA<sup>5</sup>

### **The relationship between science and constitutive values as a new horizon for science education research**

#### **Resumo**

A relação entre ciência e valores vem sendo explorada, no campo da filosofia da ciência, desde a década de 1970, mas a educação científica, que tradicionalmente busca aportes filosóficos para suas teses, ainda não se apropriou de diversas vertentes desta discussão. Neste trabalho, apresenta-se a perspectiva dos filósofos estadunidenses Larry Laudan e Helen Longino, em que através de análises da relação entre ciência e valores, buscam revisitar e reafirmar os conceitos de objetividade e racionalidade, relegados pelos primeiros pós-positivistas. As teses desses dois filósofos são especialmente profícuas para a educação científica, pois podem ser uma base sólida para questões como o realismo científico, a ética e a natureza da ciência, que são centrais para diversos pesquisadores e educadores.

#### **Abstract**

Philosophers of science have been exploring the relationship between science and values since the 1970s, but science education, which traditionally seeks philosophical contributions to its theses, has not yet appropriated various aspects of this discussion. This paper presents the perspective of American philosophers Larry Laudan and Helen Longino, in which, through the analysis of the relationship between science and values, seek to revisit and reaffirm the concepts of objectivity and rationality, relegated by the first post-positivists. The theses of these two philosophers are especially fruitful for science education because they can be a solid basis for such issues as scientific realism, ethics and the nature of science, that are central to many researchers and educators.

**Palavras-chave:** Valores constitutivos, valores contextuais, racionalidade, objetividade, natureza da ciência

---

<sup>5</sup> Este trabalho foi submetido a publicação em fevereiro de 2015 e apresentado, na forma de comunicação oral no III International History, Philosophy and Science Teaching Group Latinoamerican Conference (Santiago, novembro 2014).

**Keywords:** Constitutive Values, Contextual Values, Rationality, Objectivity, Nature of Science

## 2.1 INTRODUÇÃO

A relação entre ciência e valores foi, até o positivismo lógico, vista de modo bastante restrito e complexo. Os defensores dessa linha filosófica apontavam que o conhecimento científico tinha certos aspectos, como precisão, simplicidade e coerência, que funcionavam, de fato, como regras ou critérios para a escolha de boas teorias. Outros valores, de natureza contextual – estéticos, tecnológicos, sociais e religiosos, por exemplo – deveriam ser mantidos fora do âmbito da ciência; poderiam acarretar uma perniciosa invasão ideológica da atividade. Se qualquer valor desempenhasse um papel na atividade científica, este deveria estar limitado ao contexto da descoberta (KUHN, 2009; McMULLIN, 2000). Mesmo os atos de valorar e avaliar eram escrutinizados: enquanto avaliar era uma ação científica perfeitamente aceitável, pois seus resultados, acreditava-se, eram oriundos apenas do objeto, valorar, por sua vez, era incabível, pois envolvia um juízo de valor carregado das subjetividades do cientista. A dicotomia entre fato e valor – descendente da dicotomia entre contextos da justificativa e da descoberta – era também premissa fundamental entre positivistas (McMULLIN, 2000; MARICONDA, 2006).

Com as mudanças ocorridas na filosofia especialmente a partir da década de 1960, contudo, essas dicotomias perderam força e suas fronteiras tornaram-se indefinidas. Aqueles que assistiram a essa mudança, assim como a queda de diversos outros princípios positivistas na análise da ciência, viram também a imprevista ascensão de outros aspectos, como a subjetividade, o relativismo e a irracionalidade. Thomas Kuhn (2009), um dos inauguradores desse período pós-positivista, no entanto, buscou desviar das acusações de irracionalidade utilizando justamente a noção de valores e seu papel na escolha teórica para resgatar a racionalidade e a objetividade da sua tese.

A defesa de Kuhn, embora fugidia, foi bastante prolífica e permitiu, a partir da década de 1980, que um novo movimento fosse iniciado na filosofia da ciência. Filósofos como Larry Laudan e Helen Longino fizeram da relação entre ciência e valores uma protagonista relevante de suas teorias da ciência. Suas concepções envolvem o resgate e a revisitação de conceitos muito criticados por pós-positivistas, por

meio de análises axiológicas da ciência – algo que, para um positivista de algumas décadas atrás, seria uma busca claramente paradoxal.

O estadunidense Larry Laudan, enquanto trabalhou com a filosofia da ciência, dedicou-se a criticar tanto o positivismo como suas correntes contrárias. Sua visão de ciência foi construída especialmente na crítica das obras de Thomas Kuhn e na busca da racionalidade. Seu livro mais conhecido é *O Progresso e seus Problemas* (LAUDAN, 2010), publicado primeiramente em 1977, em que propôs ser a ciência uma atividade de resolução de problemas. Em 1984, buscando explicar a existência de controvérsias científicas, escreveu *Science and Values*, onde desenvolveu um modelo de justificação, atrelado à sua concepção de ciência. Atualmente, dedica-se aos estudos em epistemologia da ciência jurídica.

A também estadunidense Helen Longino iniciou seus estudos com a filosofia da linguagem, migrando, mais tarde, para a filosofia da ciência. Atualmente professora no departamento de filosofia da Universidade de Stanford, na Califórnia, Longino foi militante da segunda onda do feminismo, nas décadas de 1960 e 1970, e ainda hoje chama atenção para os desequilíbrios de gênero na ciência. Em seu primeiro livro sobre filosofia da ciência, *Science as a Social Knowledge* (1991), Longino convida à revisão dos conceitos de racionalidade e objetividade à luz de uma interpretação social da ciência, e da metodologia científica enquanto parte de uma prática coletiva.

A busca por um modelo de ciência mais racional e menos relativista através do exame da relação entre ciência e valores parece tarefa contraditória – afinal, valores, como bem mostra Kuhn (2009), têm natureza parcialmente subjetiva. O que Laudan e Longino propõem, no entanto, é a revisão não apenas dos aspectos do positivismo que, engessados, impõem obstáculos à compreensão do funcionamento da ciência, como também a crítica aos primeiros pós-positivistas e ao relativismo extremado de suas teorias.

As questões centrais para esses dois pensadores são de interesse da área acadêmica em educação científica, cujas reflexões frequentemente se fundamentam em concepções epistemológicas. Para Laudan (1984), por exemplo, os sistemas de justificação do conhecimento científico, que apelam multidirecionalmente a valores, métodos e teorias, são testemunhos da insuficiência da tese realista da ciência. Questões acerca da essência do conhecimento – realismos e relativismos – vêm também sendo centrais em certas teses de educadores em ciências, que, apesar de buscarem referências nas filosofias de Mario Bunge e Gaston

Bachelard, ainda não desbravaram as possibilidades axiológicas para tais reflexões.

Já o diferencial de Longino (1990) é conceber a metodologia científica como produto da coletividade da ciência e a intersubjetividade como base para o alcance da objetividade do conhecimento científico. Entre outras coisas, portanto, ela sustenta que a fronteira entre valores intrínsecos e extrínsecos à ciência é tênue e depende, justamente, do grau de socialização e diversidade da comunidade. Suas ideias têm potencialidades não apenas às investigações em questões sócio-científicas na educação – e às questões éticas, culturais e de gênero, neste sentido – como também para aqueles que, preocupados com o exacerbado relativismo do construtivismo educacional – uma ideologia com raízes tanto na psicologia cognitiva, quanto no programa forte da sociologia da ciência – que envolve, em sua forma mais radical, a concepção epistemológica de que a ciência é apenas um dentre os diversos construtos cognitivos humanos (MATTHEWS, 1994), vêm se ocupando das questões de objetividade científica e seus reflexos no ensino de ciências.

As duas teses, enfim, lançam novos olhares para questões antigas, especialmente oportunas àqueles que se ocupam das concepções arraigadas sobre realismo, objetividade e racionalidade entre as diversas linhas de pesquisa na educação científica. Este trabalho almeja, portanto, apresentá-las, assim como as discussões filosóficas que têm sido geradas desde suas proposições no âmbito da filosofia da ciência, além de avaliar mais a fundo suas potencialidades para o ensino de ciências. Primeiramente, no entanto, é necessário introduzir os trabalhos que foram seminais para essa nova onda de pós-positivistas focados nas relações axiológicas da ciência: os de Thomas Kuhn e do filósofo irlandês Ernan McMullin.

## 2.2 VALORES (EPISTÊMICOS) NA ESCOLHA TEÓRICA

O precursor da análise dos valores envolvidos tipicamente na atividade científica e, em especial, nos momentos de escolha teórica foi Thomas Kuhn. Em uma conferência proferida em 1973, que se tornou capítulo de *A Tensão Essencial* (KUHN, 1973, *in* KUHN, 2009), Kuhn buscou se defender das alegações que seus críticos fizeram a sua primeira obra – a de que a ciência, do ponto de vista kuhniano, seria uma atividade irracional. Para Kuhn (2009), no entanto, essa visão distorcida de seus críticos acerca de sua obra se dava em razão de eles ainda compreenderem racionalidade e objetividade dentro dos parâmetros positivistas, em uma



conjuntura de dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa.

Ele defendeu, portanto, que durante os períodos de escolha teórica, os cientistas recorriam a certos aspectos, que esperavam que uma boa teoria tivesse. Assim, características como precisão, coerência, simplicidade, alcance e fertilidade, antes entendidos como regras para a escolha de uma teoria, seriam buscadas pelos cientistas entre as duas teorias concorrentes. O caso, para Kuhn, é que, ao mesmo tempo em que essas características eram parcialmente objetivas, pois diziam respeito às teorias, sua avaliação e valoração dependiam de fatores próprios dos cientistas – ou seja, também tinham parte subjetiva.

Para ele, no entanto, isso não significava a irracionalidade, ou a intrusão de fatores pessoais nas escolhas teóricas científicas. Os juízos de valor feitos pelos cientistas não eram questão de gosto e, portanto, indiscutíveis, mas decisões argumentadas, ponderadas, expostas à crítica dos pares. Ele reitera, enfim, que essa poderia ser uma nova definição de objetividade.

McMullin (1983), participante de um movimento realista pós-kuhniano, revisitou os valores propostos por Kuhn (2009) e, como ele, defendeu que os valores eram indicativos da objetividade da ciência. Diferentemente de Kuhn, no entanto, manteve-se fiel ao ideal tradicional (e realista) de objetividade defendendo que os valores de uma boa teoria científica – para ele, precisão preditiva, consistência externa, coerência interna, poder unificador e fertilidade – são simbólicos não apenas da objetividade do conhecimento científico, mas testemunhos de que nosso conhecimento é uma aproximação da realidade. Por acreditar que esses valores tinham a capacidade de promover o caráter epistêmico do conhecimento, ou seja, por serem evidências do realismo científico, McMullin (1983) chamou-os de valores epistêmicos.

Algo inimaginável alguns anos antes, entre positivistas – a defesa do realismo e da objetividade através dos valores invocados e defendidos por cientistas nas escolhas teóricas – agora ganhava espaço. Entretanto, a fragilidade dos fundamentos da argumentação de Kuhn, em defesa de uma nova objetividade, e as dificuldades lógicas suscitadas pelo realismo de McMullin, aliadas às suas proficuidades, permitiram o nascimento de uma nova corrente na filosofia, que buscava preencher diversas lacunas no tema. Para isso, no entanto, foi necessário reelaborar questões antigas e reinterpretar certos conceitos filosóficos. Como bem aponta Larry Laudan (1984), na filosofia da ciência, assim como na própria ciência, também ocorrem grandes mudanças conceituais – e com alguma frequência.

## 2.3 MODELO RETICULADO E VALORES COGNITIVOS

A filosofia da ciência passou por grandes alterações nas décadas de 1960 e 1970. Antes disso, enquanto vigoravam as concepções positivistas, entendia-se que havia um método científico, que conduzia a prática científica racionalmente a um conhecimento científico objetivo. Essa interpretação, porém, tinha, entre outros problemas, a dificuldade de explicar a existência de controvérsias na ciência – que, apesar de mais escassas que em áreas como a própria filosofia ou a sociologia, ocorriam com alguma frequência em todas as ciências naturais. Suas respostas à existência de dissenso na ciência passavam por três possibilidades: eram causados pela falta de evidência decisiva, pelas teorias serem empiricamente iguais ou, em última instância, pela irracionalidade dos cientistas, pela invasão de fatores filosóficos e teológicos na prática.

Naturalmente, essas explicações para o dissenso e a controvérsia eram frágeis lógica e historicamente, negligenciando o grau de sofisticação de diversas controvérsias importantes na história da ciência, oriundas especialmente da subdeterminação das teorias pelas evidências. Entre os pós-positivistas, o tema passou a protagonizar as discussões e, portanto, a interação entre os cientistas passou a ser fator determinante nos panoramas da ciência de filósofos como Kuhn, Feyerabend e Lakatos. Mas, ao passo em que eles – e especialmente Kuhn – traziam boas compreensões para episódios da ciência em que se geravam controvérsias, suas respostas para o fato de que as controvérsias, em geral, se acabam, e o consenso rapidamente é restaurado na comunidade científica – a não ser apelando à irracionalidade – eram insatisfatórias e levavam a acusações de irracionalidade.

As reflexões de Larry Laudan nascem justamente neste contexto: se, por um lado, as concepções positivistas eram bastante racionais e rígidas, mas insuficientes para explicar a existência de controvérsias na ciência, as concepções pós-positivistas, que explicavam bem o dissenso na ciência, não elucidavam a volta ao consenso, tão frequente na ciência – ao menos não de modo minimamente racional. Assim, ele buscou preencher essa lacuna explicando como se dá a racionalidade da dinâmica da formação de consenso na atividade científica. Suas ideias são declaradamente fundamentadas na crítica às de seu antecessor Thomas Kuhn.

Kuhn, em sua análise, lança mão de diversos exemplos da história da ciência para argumentar que critérios compartilhados não podem inequivocamente determinar uma escolha teórica plenamente objetiva. Larry Laudan (1984, p. 32), no entanto, afirma de forma

contundente que “nem Kuhn, nem mais ninguém, mostrou que a maioria das [...] situações de escolhas teóricas exhibe a impotência dos ‘critérios compartilhados’ para determinar uma preferência”. A subdeterminação – seja das teorias pelas evidências, dos métodos pelos fatos ou dos objetivos, metas e valores cognitivos (ou constitutivos) pelos métodos – foi amplamente utilizada para criticar a abordagem positivista da dinâmica entre controvérsia e consenso na ciência. Alcançou-se um ponto radical, o relativismo epistêmico – e no caminho, filósofos desistiram da racionalidade da ciência. Pretendendo resgatá-la, Laudan (1984) recorre à teoria da racionalidade instrumental, defendida por filósofos como Carl Hempel, Hans Reichenbach e Karl Popper, mas não sem promover as necessárias mudanças, em face das sólidas críticas ao positivismo lógico.

No intento de explicar a aparente contradição que é a existência de controvérsias na ciência (que é, de forma geral, o empreendimento intelectual humano mais consensual), Laudan (1984) resgata a teoria da racionalidade instrumental, que ele chama de modelo hierárquico da justificação. O positivismo lógico compreendia que disputas no âmbito fatural seriam resolvidas no campo metodológico; controvérsias no nível metodológico, por sua vez, encontravam solução no domínio axiológico.

A prática científica determina que cientistas submetam suas hipóteses e resultados aos pares; na existência de disputas entre diferentes reivindicações, a comunidade buscaria, com a aplicação de um determinado conjunto de regras metodológicas, alcançar o consenso. Esse apelo ao nível metodológico garantiria o fim da controvérsia fatural. Do mesmo modo, havendo disputas no nível metodológico, ou seja, as diferenças entre quais conjuntos de métodos são melhor aplicáveis aos fatos, uma solução ao dissenso seria buscada com o apelo aos objetivos da ciência, aos valores que a ciência deve atingir, ou seja, ao nível axiológico.

As críticas a essa visão hierárquica, cuja estrutura se mostra fortemente positivista, veio das mesmas fontes que criticaram essa tradição, pois ela defende que, havendo consenso em nível axiológico, findaria, rapidamente, qualquer controvérsia nos níveis metodológico e fatural. Seria apenas uma questão de resolução de problemas cognitivos de um determinado cientista para que o dissenso se desfizesse. O proponente de uma teoria que em termos fatuais ou metodológicos não estivesse de acordo com os princípios axiológicos da ciência logo teria que aceitar a evidente dissonância.

Ademais, os críticos bem apontaram a questão da subdeterminação como uma deficiência clara na construção do modelo hierárquico da justificação. Afinal, não há garantias lógicas de que um

determinado conjunto de regras metodológicas possa determinar uma disputa fatural; do mesmo modo, não há um conjunto de objetivos da ciência capaz de resolver de forma definitiva uma disputa metodológica. Assim, a escolha dos fatos é subdeterminada pelas regras metodológicas, que, por sua vez, são subdeterminadas pelos valores e objetivos da ciência.

Tais críticas, então, acabam traduzindo a ciência em atividade irracional; esse relativismo epistêmico, contudo, é o que Laudan (1984) pretende contra-argumentar. Para ele, a subdeterminação, por si só, não é suficiente para erodir o modelo hierárquico. O que os filósofos pós-positivistas como Kuhn esqueceram é que, apesar de não haver garantias lógicas de que a invocação a um ou outro nível da atividade científica seja plenamente capaz de resolver controvérsias, ela pode determinar quais das reivindicações (fatuais ou metodológicas) melhor se aproximam dos objetivos da ciência. Para isso, no entanto, é necessário assumir que o objetivo dos cientistas não é o de buscar a melhor teoria, mas o de propor a teoria melhor suportada por evidências e métodos – mesmo que não se possa suprimir seu caráter subdeterminado.

Ainda que resgate os pontos fortes do modelo hierárquico e salvasse sua operacionalização da crítica da subdeterminação, Laudan (1984) compreende que tal modelo tem claras limitações, especialmente no que concerne ao engessamento do nível axiológico. Afinal, mesmo aceitando a premissa de que haveria controvérsia na ciência, tal modelo vê essas controvérsias como pequenos obstáculos a seu crescimento, facilmente superáveis. Mas controvérsias existem na ciência, em grande ou pequena escala, e apesar da rapidez impressionante com que muitas vezes são resolvidas, dificilmente podem ser relegadas às dificuldades cognitivas de cientistas individuais.

Para Laudan (1984), o sistema hierárquico esconde a riqueza de dois de seus níveis: o fatural e o axiológico. Quanto ao fatural, para ele, as relações entre os níveis são muito mais sofisticadas; a dinâmica entre hipóteses e experimentos (neste caso, procedimentos), típica dos níveis fatural e metodológico, é uma das características negligenciadas pelos positivistas. Como ele mesmo define (LAUDAN, 1984, p. 39), “[c]renças fatuais, então, moldam as atitudes metodológicas tanto quanto nossos objetivos”. Assim, a concepção hierárquica, com sua característica abertamente unidimensional, perde de observar o papel fundamental desempenhado pelos fatos no desenvolvimento e na escolha de procedimentos da ciência. Mas é no nível axiológico, no entanto, que Laudan (1984) encontra espaço para criticar os posicionamentos

epistemológicos opostos de positivismo e pós-positivismo e construir seu próprio modelo de justificação.

Para construir seu modelo de justificação, o filósofo propõe primeiro uma organização do que ele entende pelo nível axiológico, abordando o que chama de falácia da covariância, que se apresenta de duas formas. A primeira delas envolve “a tendência de assumir que grandes divergências de crença sobre teorias e hipóteses entre cientistas (discordâncias fatuais) evidenciam, em última instância, diferenças no nível dos objetivos e metas” (LAUDAN, 1984, p. 43), como ele afirma ser o caso do posicionamento de Thomas Kuhn. Seu argumento contra essa falácia envolve novamente a questão da indeterminação.

Precisamente porque (como o próprio Kuhn enfatiza em outros contextos) os valores cognitivos subdeterminam regras metodológicas, e porque essas regras, por sua vez, subdeterminam preferências teóricas, é perfeitamente concebível que dois cientistas possam aderir precisamente ao mesmo conjunto de objetivos e ainda assim defenderem visões fundamentalmente diferentes da arquitetura do universo (LAUDAN, 1984, p. 44).

Do mesmo modo, e com a mesma argumentação, Laudan (1984) levanta a outra falácia: a de que, havendo consenso fatural – como ocorre de modo generalizado na ciência, há, necessariamente, consenso axiológico, ignorando que cientistas, trabalhando no mesmo cânone (teorias e métodos), podem ter (e têm, frequentemente) diferenças de valores, objetivos e metas. Consenso em um nível não significa necessariamente consenso nos outros.

É interessante, enfatiza Laudan (1984), que justamente aqueles que defendiam a racionalidade da ciência, como Popper e Reichenbach, tenham aceitado o modelo hierárquico tradicional, ao mesmo tempo em que advogavam que conflitos axiológicos eram cognitivamente insolúveis. Logicamente, por esse lado, não haveria consenso teórico na ciência se não houvesse consenso de objetivos, metas e valores – e aí residia a inconsistência da linha de argumentação desses filósofos.

Para resolver o impasse – defender uma ciência racional mesmo admitindo a existência de controvérsias axiológicas – Laudan então postula seu modelo reticulado, organizado conforme o esquema:

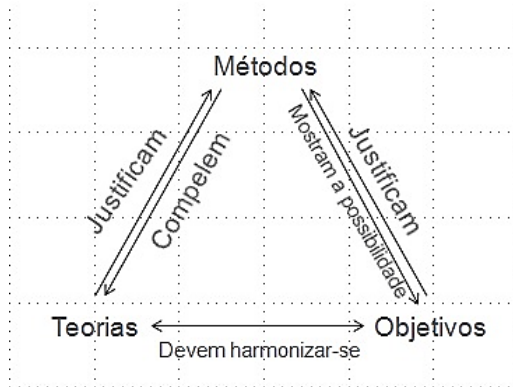


Fig 2.1: A rede triádica de justificação, do modelo reticulado de Laudan (1984, p. 63)

No modelo reticulado, que remete a uma rede de associações, os três vértices não dizem respeito somente a fatos, métodos e valores, como nos níveis do modelo hierárquico positivista, mas a teorias, métodos e objetivos, classificações por si só mais amplas e abertas às inter-relações. Objetivos, para Laudan, são os objetivos do conhecimento em produção, ou seja, os valores que dele se esperam. Em relação a eles, no entanto, é necessária uma postura crítica constante, que revele seu potencial para serem alcançados. Valores utópicos, como verdade, infalibilidade, simplicidade e elegância, para o filósofo, são atestados de irracionalidade. Igualmente irracionais são os valores de arquétipos compartilhados, aqueles que se diz perseguir, mas que a prática rapidamente revela não ser sequer preocupação para determinados cientista ou comunidade.

Diferentemente do modelo hierárquico, o sistema triádico permite a relação entre diversos níveis nas escolhas dos cientistas. Assim, teorias, objetivos e métodos influenciam uns aos outros, comportando diferentes formas de, por exemplo, se encerrar controvérsias. Mais importante, “o modelo reticulado insiste que nossos julgamentos sobre quais teorias são sólidas podem ser avaliados com referências às nossas axiologias explícitas, de modo a revelar tensões entre nossas estruturas de valores implícitas e explícitas” (LAUDAN, 1984, p. 62). O modelo reticulado, portanto, propicia uma boa forma de vigilância da racionalidade dos valores; essa racionalidade, ele segue defendendo para todo o sistema triádico.

Mas, além de exigir que nossos objetivos cognitivos devam refletir nossas melhores crenças do que é ou não possível, que nossos métodos devam ter uma relação apropriada com nossos objetivos, que nossos valores implícitos e explícitos devam ser sincronizados, há pouco mais que a teoria da racionalidade possa demandar (LAUDAN, p. 64).

Enfim, o filósofo sustenta que seu modelo de justificação é também capaz de definir – e, então, defende – o progresso na ciência. “Uma certa sequência de teorias aproxima os cientistas do alcance de certos objetivos mais do que anteriormente? Então o progresso (em relação àquele objetivo) ocorreu. Se não, então não. O caso realmente é simples assim” (ibid, p. 65). Sua definição apresenta uma forma de *whiggismo*, do qual ele não se esquivava – aliás, mostra se apropriar, pois

Quando nos perguntamos se a ciência progrediu, estamos tipicamente perguntando se o desenvolvimento diacrônico da ciência nos aproximou das finalidades cognitivas que julgamos merecidas e desejáveis. Grandes cientistas do passado não precisam ter compartilhado nossos objetivos para que nós avaliemos se suas teorias aproximaram-nos de nossos objetivos cognitivos. Por essas razões, um reconhecimento do fato de que objetivos e valores mudam não influencia na nossa utilização de uma noção robusta do progresso científico cognitivo (ibid, p. 65)

## 2.4 VALORES CONSTITUTIVOS

Larry Laudan situou sua tese em relação a um problema que a filosofia da ciência vinha enfrentando, principalmente desde A Estrutura das Revoluções Científicas: as dificuldades de se explicar a existência de controvérsia e consenso na ciência. Do mesmo modo, mas à sua maneira, Longino contextualiza sua proposição filosófica em relação às contradições herdadas pelo debate entre positivistas e holistas<sup>6</sup> – as dissonâncias entre as perspectivas lógica e sociológica da ciência. Os contrastes trazidos por Laudan e Longino são faces da mesma moeda;

---

<sup>6</sup> Longino, assim como Laudan, denomina os pós-positivistas das décadas de 1960-70 de holistas (wholists).

representam as dificuldades de descrever a atividade científica e explicar seu alto grau de sucesso simultânea e satisfatoriamente.

Como ambos apontam, para buscar uma terceira e mais razoável via na filosofia da ciência é necessário revisar certos conceitos filosóficos, como racionalidade e objetividade, que permaneciam com a mesma definição rígida dada pelos positivistas – e o próprio Kuhn, em 1973, já buscara tal revisão, mesmo que de modo incipiente. Enquanto o foco de Laudan era a racionalidade, Longino se dedica a revisar a objetividade da ciência. Para se aventurar em tal defesa, ela propõe duas mudanças de perspectiva: primeiramente, é necessário compreender a ciência enquanto prática; depois, “é possível fazer a segunda mudança, que envolve compreender o método científico como algo praticado não primariamente por indivíduos, mas por grupos sociais” (LONGINO, 1990, p. 66).

Ela lembra que existem, em geral, dois modos intimamente conectados, mas bastante diferentes, de se asseverar a objetividade à ciência. Um deles estaria ligado a questões ontológicas do conhecimento e seria a forma de objetividade defendida por realistas científicos. O outro estaria ligado à metodologia científica, que antes se compreendia levar a conhecimentos objetivos por ser “fundamentada em critérios não arbitrários e não subjetivos para desenvolver, aceitar e rejeitar hipóteses, e teorias [...]” (LONGINO, 1990, p. 62). Assim, a objetividade do método científico – e, por consequência, do conhecimento científico – era atribuída a dois fatores: que os dados por ele conseguidos são reflexos confiáveis da natureza e que o método “proporciona meios de avaliar hipóteses e teorias de modo imparcial e sem preconceitos” (LONGINO, 1990, p. 63).

Ela determina então que sua preocupação com a objetividade da ciência está centrada na análise dos métodos. Dentre as duas atribuições de objetividade, no entanto, ela se ocupa unicamente do segundo tipo – a objetividade dos meios de avaliar hipóteses e teorias. Atribuir objetividade aos métodos por conta da objetividade dos dados, como bem discutiram os primeiros pós-positivistas, negligencia questões importantes da dinâmica entre hipóteses e experimentos e a subdeterminação de teorias por evidências. É no desenvolvimento de modos e critérios de avaliação de teorias e hipóteses, portanto, que Longino enxerga a possibilidade de salvaguardar a objetividade dos métodos e da própria ciência.

Voltando à questão da ciência como prática, ela reitera que o caráter social da ciência não é exatamente uma ideia nova. A diferença, no entanto, está na maneira como se encara essa atividade em grupo. Perspectivas como as dos positivistas, que entendiam o método como a



aplicação de certas regras aos dados, assim como a do cientista normal de Kuhn, que trabalha, sem questionamentos, dentro de um paradigma definido, são altamente individualistas, apesar de reconhecerem que a atividade científica é feita em uma comunidade. Para a filósofa, a diversidade da comunidade, e não sua capacidade de trabalhar como grupo homogêneo, é a chave para se compreender a objetividade da ciência. Naturalmente, há espaço para desenvolvimentos individuais dentro da ciência, mas suas meras proposições não garantem o estatuto de científico àquele conhecimento. “Uma vez que proposições, teses e hipóteses são desenvolvidas, o que se tornará conhecimento científico é produzido coletivamente por meio de conflito e entrosamento de uma variedade de pontos de vista” (LONGINO, 1990, p. 69).

A publicidade e a abertura à crítica são pontos importantes do método científico como concebido pela filósofa. A dimensão social da publicidade do conhecimento científico permite, entre outras coisas, que o conhecimento seja um recurso público, dentro e fora da ciência. Mas a publicidade também tem uma dimensão lógica, onde reside a potencialidade da ciência ser objetiva: em virtude dela, o conhecimento está disponível àqueles que têm o interesse de trabalhar sobre ele, desde que devidamente iniciados, e o conhecimento é intersubjetivamente determinável, ou seja, são compreendidos e aceitos do mesmo modo por, ao menos, um grupo de pessoas. “É a possibilidade da crítica intersubjetiva, de qualquer maneira, que permite a objetividade apesar de o raciocínio sobre evidências ser dependente do contexto” (LONGINO, 1990, p. 71).

Existem diversas formas de se promover a crítica a uma teoria ou hipótese, que Longino divide em dois tipos: críticas sobre evidências e críticas conceituais. As críticas sobre evidências são aquelas em que os pares observarão se as hipóteses aventadas são bem suportadas pelo conjunto de evidências apresentado. Entre as conceituais, a filósofa distingue três tipos diferentes: quanto à solidez conceitual da hipótese, quanto à sua consistência com teorias já aceitas e quanto à relevância das evidências em relação à hipótese que supostamente sustenta. “É este terceiro tipo de crítica, entretanto, que equivale a questionar as crenças e pressupostos de fundo à luz dos quais certos estados de coisas se tornam evidência, que é crucial para o problema da objetividade” (LONGINO, 1990, p. 73). Muitas vezes, essas discussões podem ser amparadas por novas evidências empíricas. Por outro lado, muitas delas podem ser feitas unicamente em termos de críticas conceituais.

Assim, o que Longino (1990, p. 74) pretende propor é uma regulação lógica da ciência por ela própria: embora subjetividades de

modo geral façam parte da avaliação de hipóteses e teorias, com a intersubjetividade é possível destituir ao máximo os conhecimentos científicos de preferências subjetivas.

De um ponto de vista lógico, se o conhecimento científico fosse compreendido como uma simples soma de produtos finalizados da atividade individual, então não apenas inexistiria uma maneira de impedir ou atenuar a influência de preferências subjetivas, como o próprio conhecimento científico se tornaria um pot-pourri [miscelânea] de teorias alegremente inconsistentes. Apenas se os produtos da investigação forem compreendidos como formados pelo tipo de discussão crítica que é possível quando há pluralidade de indivíduos sobre fenômenos comumente acessíveis, poderemos observá-los como conhecimento, em vez de opinião.

A capacidade de uma comunidade científica ser objetiva – ou seja, de produzir a intersubjetividade essencial para eliminar preferências subjetivas dos conhecimentos – pode ser medida em termos de quatro critérios: a) meios reconhecidos para crítica, tais como conferências e periódicos; b) padrões compartilhados; c) reação da comunidade, como premiações e inserções de conteúdos em livros didáticos, e d) igualdade de autoridade intelectual, isto é, a recusa da influência do poder político de um de seus membros. Os espaços de exposição à crítica têm a capacidade de garantir o diálogo que, segundo a autora, permite extrair de uma hipótese possíveis subjetividades ou idiossincrasias de seus propositores.

É justamente sobre os padrões compartilhados que Longino concede uma semelhança com a tese de Kuhn, pois os entende igualmente como valores. Diferentemente de seu antecessor, no entanto, ela inclui que a comunidade científica vai ter, entre seus padrões, não apenas valores característicos ao ‘bom’ conhecimento científico, que Kuhn não denomina especificamente, mas que McMullin chama de epistêmicos e Laudan, de cognitivos, mas também valores sociais, contextuais. Além disso, a análise kuhniana é feita apenas para momentos de escolha teórica; Longino está interessada nas mais diversas etapas do desenvolver da ciência e, neste caso específico, na avaliação de hipóteses e da relevância das evidências. Como ela bem enfatiza,

[...] a ênfase nas teorias distorce a prática e o crescimento científicos. Os cientistas raramente trabalham na construção ou avaliação de grandes teorias. Sua atividade construtiva, teórica tende a consistir muito mais no desenvolvimento de hipóteses individuais ou inter-relacionadas (como leis, generalizações ou explicações) a partir da complexa integração entre observação e experimento e suposições de fundo (LONGINO, 1990, p. 81).

Longino chama os valores tradicionalmente apontados como típicos da ciência de valores constitutivos. Os valores sociais, políticos, tecnológicos e econômicos ela denomina valores contextuais. Os modelos que concedem um papel aos valores contextuais na ciência, segundo ela, faziam-no através de uma concepção de externalidade, ou seja, os valores contextuais só influenciariam na escolha de que pesquisas seriam continuadas ou financiadas, e quais seriam relegadas. A possibilidade de valores contextuais agirem internamente à prática científica acarretaria necessariamente (na visão clássica) em má ciência.

Mas Longino lança outro olhar sobre essa questão, evidenciando com exemplos da história da ciência a possibilidade de valores contextuais interferirem dentro do empreendimento científico. Ela delimita ao menos cinco etapas do trabalho científico que estariam expostas aos valores contextuais: as práticas, as questões, os dados, os pressupostos específicos e os pressupostos globais. Dependendo do grau de intersubjetividade, certos valores contextuais poderiam se tornar valores constitutivos.

Por certo, em muitos casos, a influência de valores contextuais pode provocar o que a autora chama de má ciência; como ilustrações, Longino (1990) lança mão de diversos exemplos da história da ciência – mais especificamente, das pesquisas em farmácia e bioquímica. Porém, a filósofa argumenta que, em alguns casos, os valores contextuais podem e devem nortear decisões científicas. Muitas vezes, somente os valores tradicionalmente constitutivos, como adequação empírica ou coerência, não dão conta de nortear a dinâmica entre hipóteses e experimentações na ciência.

A delimitação de um objeto de investigação e, por consequência, de um campo de pesquisa pressupõe um recorte, ele mesmo produto de uma visão de mundo, de um determinado sistema de valores que ainda não são aqueles tidos tradicionalmente como constitutivos. O objeto da ciência nunca é a natureza por si só, mas, dependendo do campo de

pesquisa, pode ser a natureza como um sistema teleológico ou a natureza como um sistema mecânico, e isso tornará a escolha de certas questões de investigação mais apropriada do que outras. Além disso, a mediação entre evidências e hipóteses também depende deste primeiro recorte. A definição de um objeto de conhecimento e as caracterizações de suas propriedades fundamentais, assim como as relações entre essas propriedades e o próprio objeto são “uma função do tipo de conhecimento buscado sobre esses objetos e, portanto, uma questão de decisão, escolha e valores tanto quanto de descobertas” (p. 100, grifos da autora). São valores contextuais que funcionam, de fato, como constitutivos – e permitem, inclusive, um certo grau de proteção da ciência quanto a certas preferências subjetivas idiossincráticas.

O tipo de conhecimento buscado e representado em uma especificação do objeto de investigação funciona como um objetivo que determina os valores constitutivos. Ele estabiliza a investigação propiciando pressupostos que enfatizam certos tipos de observações e experimentos e à luz dos quais esses dados são compreendidos enquanto evidência para uma dada hipótese. Ele também propicia restrições a hipóteses admissíveis. [...] A ciência busca não meramente verdades, mas tipos particulares de verdades (LONGINO, 1990, p. 100-101).

## 2.5 COGNITIVO, CONSTITUTIVO, CONTEXTUAL: SIMILARIDADES, FRONTEIRAS E CRÍTICAS

Apesar de serem notáveis as diferenças entre as teses de Laudan e Longino, seus pontos de partida são oriundos dos mesmos problemas: as lacunas históricas dos positivistas e as dificuldades lógicas dos holistas. Laudan propõe-se a explicar como a comunidade científica tão rapidamente alcança o consenso após controvérsias científicas; Longino direciona seus esforços para compreender como o conhecimento científico é objetivo justamente em função da influência de valores na prática intersubjetiva da ciência. São, portanto, duas formas de terceira via, que resgatam aspectos importantes do empreendimento científico, buscam sanar insuficiências e agregam novas respostas e perguntas à questão axiológica da ciência.

Além do ponto de partida em comum, os dois filósofos compartilham, também, a crítica ao realismo científico. Para ambos, a tese

realista não se sustenta logicamente. Defendendo que o objetivo da ciência é a busca pela verdade, os realistas, como McMullin (1983, p. 18), entendem que os valores historicamente invocados pelos cientistas na escolha teórica são indicativos de que os métodos utilizados pelos cientistas conseguem promover o alcance paulatino desse objetivo.

[P]orque promovem o caráter verdadeiro da ciência, seu caráter de ser o mais seguro conhecimento disponível a nós sobre o mundo que buscamos compreender. Um valor epistêmico é aquele que temos razão em acreditar que, se perseguido, ajudará na construção de tal conhecimento.

Tanto para Longino quanto para Laudan, no entanto, não existe uma relação causal entre a promoção de determinados valores e a aproximação da verdade na ciência; não há, sequer, uma maneira de se asseverar que se está, em primeira instância, promovendo qualquer aproximação da verdade. Suas concepções acerca da ontologia do conhecimento científico, então, são antirrealistas.

Parece contraditório, então, que Laudan e Longino apontem verdade como um valor constitutivo da ciência. Essa concessão é feita justamente em razão do caráter do conceito de valor. Valores são parcialmente subjetivos; parte da comunidade científica pode tratar a verdade como valor relevante na avaliação de teorias, modelos e hipóteses. Como Kuhn bem apontava, naturalmente, os valores tomados individualmente são incapazes de guiar a escolha teórica, que ocorre com a associação de um ou mais valores que, mesmo assim, devem ser negociados pela comunidade. O que Laudan e Longino buscam mostrar é, mesmo que alguns cientistas e filósofos vejam a verdade como valor constitutivo da prática científica, ela não é o objetivo, o ideal da ciência, pois não há garantias lógicas de que as teorias estejam se aproximando da verdade. Uma teoria não tem que ser falsa para ser ruim, Laudan (2004) afirma taxativamente, asseverando sobre a famosa assertiva do filósofo holandês Bas van Fraassen de que uma teoria não precisa ser verdadeira para ser boa.

Assim, encadeando uma crítica lógica entre epistemologia e filosofia da ciência, Laudan busca erodir o ideal de verdade e se posiciona determinantemente acerca da natureza de certos valores constitutivos da ciência e sua relação com o progresso da atividade: são cognitivos, mas não necessariamente (nem frequentemente) epistêmicos.

Tais valores são constitutivos da ciência no sentido de que não podemos conceber um bom funcionamento da ciência sem eles, mesmo eles não sendo inteligíveis segundo a teoria clássica do conhecimento. Esses valores não têm nada a ver com a semântica filosófica ou com condições de justificação, como é geralmente compreendido. Por esta razão, eu os chamo de virtudes ou valores cognitivos, dos quais as virtudes epistêmicas formam um subconjunto próprio (eu quase disse desinteressante) (LAUDAN, 2004, p. 19).

Longino (1990), por sua vez, e partindo do mesmo princípio lógico que Laudan (2004), também tece algumas críticas ao realismo. “As ciências não buscam meramente a verdade, mas tipos particulares de verdades” (LONGINO, 1990, p. 101), ela afirma, em alusão ao fato de que são os recortes, as perspectivas lançadas para a determinação de um objeto de investigação – e, conseqüentemente, de um campo de pesquisa – que determinam o que os cientistas compreendem como verdade. Por isso, ela, à semelhança de Laudan, classifica verdade como um valor constitutivo como tantos outros e não como objetivo da ciência. Esse aparente relativismo de Longino se aproxima do ceticismo de Laudan quando, analisando sua própria concepção de objetividade, ela conclui, de modo espirituoso que

Dizer que uma teoria ou hipótese foi aceita com base em métodos objetivos não nos permite dizer que ela é verdadeira, mas que ela reflete o consenso criticamente alcançado pela comunidade científica. Na ausência de alguma forma de acesso privilegiado a fenômenos transempíricos (inobserváveis), não está claro se devemos esperar por coisa melhor (LONGINO, 1990, p. 79).

Devido a suas posturas antirrealistas e pela maneira como concebem os objetivos da ciência, Laudan e Longino, evitam classificar certos valores como epistêmicos. De fato, somente a verdade é um valor epistêmico – e um dos menos interessantes e mais utópicos, para Laudan. Outros valores, tão ou mais determinantes na ciência, como adequação

empírica e coerência, são chamados por Laudan e Longino de cognitivos ou constitutivos<sup>7</sup>.

Essa diferença acarreta outra distinção entre os filósofos ocupados das relações entre ciência e valores. McMullin (1983), por ser um realista, fornece, mesmo que de modo fugidivo uma lista mais fechada e normativa de valores (epistêmicos). De acordo com o filósofo, por serem valores validados historicamente como epistêmicos, são os mais confiáveis, segundo a experiência científica. Ele defende que valores “fora do padrão” podem, de fato, ter natureza epistêmica – como certas crenças metafísicas que influenciaram a mecânica de Newton – mas se mantém reticente em relação à questão.

Se McMullin advoga que há, ao menos, um padrão histórico potencialmente normativo, Kuhn, Laudan e Longino, por outro lado, sequer se aproximam dessa sorte de proposição. Em seu trabalho, Kuhn (2009, p. 365) aponta cinco aspectos que funcionam como valores “não porque sejam exaustivos, mas porque são individualmente importantes e em conjunto suficientemente variados para indicar o que está em jogo”. Longino (1990) lista, como exemplos de valores constitutivos, verdade, exatidão, simplicidade, previsibilidade e amplitude. Laudan (1984; 2004) sugere precisão, fertilidade, previsibilidade e alcance explicativo, mas, assim como Longino, menciona outros, de passagem, em diversos trechos de suas obras.

A reticência na definição dos valores constitutivos se estende ainda às listas que propuseram. Como observa Rooney (1992), não são idênticas, mas têm algumas semelhanças presumíveis. Ela aponta que o que Kuhn compreende por alcance parece ser análogo a amplitude, de Longino, e a poder unificador, de McMullin (e a alcance explanatório, de Laudan). O valor chamado exatidão, por Kuhn e Longino, é citado por McMullin como exatidão preditiva e por Laudan como precisão. O único valor de terminologia consensual, a fertilidade, é omitido por Longino, embora não se possa tecer maiores considerações sobre o assunto, dado que sua lista é sugerida apenas a título de exemplo. Há, ainda, algumas diferenças entre as sugestões dos quatro filósofos, advindas naturalmente, da construção de suas proposições. Como já mencionado, e também

---

<sup>7</sup> Laudan e Longino utilizam frequentemente os dois termos, embora o termo cognitivo seja mais associado a Laudan, e constitutivo, a Longino. Nenhum dos dois empreende uma diferenciação para as nomenclaturas, mas fica implícito, especialmente em Laudan (2004) que, dentre os valores constitutivos da ciência, há aqueles de natureza epistêmica, assim como há os de natureza cognitiva.

ênfatisado por Rooney (1992), a verdade é tida como valor para Longino (e um bem discutível, para Laudan), mas como ideal para McMullin. Simplicidade, por sua vez, apontado sem maiores consequências por Kuhn e Longino, sofre algumas ressalvas de McMullin e é terminantemente negada por Laudan, em virtude de supostamente ser utópico.

É importante posicionar os filósofos aqui discutidos também em relação às questões de valores extrínsecos e intrínsecos à ciência. Kuhn, o primeiro deles, não menciona a intrusão de valores sociais na escolha teórica. Em sua apresentação, fala apenas de aspectos das teorias científicas que os positivistas costumavam compreender como normas para a escolha de teorias. Ele não pretende fornecer uma lista fechada desses valores, assim como defende que eles mudam com o tempo – e provocam diferenças de interpretação entre cientistas. Não menciona, ademais, se valores sociais podem – ou já puderam, na história da ciência – entrar na atividade científica. É interessante, pois isso contrasta com sua primeira obra (KUHN, 2006), em que ele afirma que, em situações de revoluções científicas – e de escolha teórica, portanto – decisões são influenciadas por aspectos que transcendem aqueles puramente científicos. Sabe-se, no entanto, que os trabalhos reunidos em *A Tensão Essencial* (KUHN, 2009) têm a intenção de atenuar o caráter excessivamente relativista, e bastante criticado, de sua primeira obra.

McMullin, por sua vez, oferece uma lista mais fechada. Como mencionado, ele reconhece que valores “epistêmicos” fora do padrão podem funcionar como epistêmicos, e cita a ciência newtoniana como exemplo. Laudan é categórico em dizer que, em seu livro, não se ocupa dos valores sociais e suas interferências na ciência, apenas com os valores cognitivos, aqueles que “representam as propriedades de teorias que supomos serem constitutivas de uma ‘boa’ teoria” (LAUDAN, 1984, p. xii). Apesar disso, não é prescritivo em determinar o que é ser um valor cognitivo – e, portanto, deixa as fronteiras entre cognitivos e não cognitivos bastante indefinidas. Longino, por fim, tem como objetivo justamente uma descrição da ciência que englobe, simultaneamente, o papel constitutivo de certos valores sociais na ciência e a objetividade da prática científica. Assim como seus antecessores, no entanto, não determina uma diferenciação a priori entre valores intrínsecos e extrínsecos.

Para Rooney (1992), as inconsistências e reticências dos filósofos sobre uma lista e uma consequente demarcação entre os âmbitos constitutivo e contextual da ciência é bastante sugestiva – mas, segundo a autora, não pelo motivo que eles imaginam ser. Para ela, os valores



extrínsecos a ciência não surgem em cena apenas nas escolhas teóricas, invocados por cientistas ante as lacunas cognitivas provocadas pela subdeterminação da teoria pela evidência, mas na própria concepção do significado dos valores intrínsecos à ciência – isto é, na própria subjetividade inerente à concepção de valor. Diferentes cientistas podem ter diferentes concepções de que valores são importantes naquele momento científico.

Assim, a filósofa conclui que a distinção entre valores epistêmicos e não epistêmicos não é relevante. Afinal, não há como discerni-los na prática corrente da ciência, ou mesmo como avaliar o grau de influência dos não epistêmicos nos epistêmicos. “[A] ‘aplicação’ de critérios ‘constitutivos’ no contexto científico demanda um complexo pano de fundo de linguagens, práticas e habilidades dentro dos quais todo tipo de aspectos constitutivos-contextuais já está codificado” (ROONEY, 1992, p. 19).

Outra filósofa a se interessar pelas obras de McMullin e Longino é Rolin (1998), cujo contraponto em relação a Rooney (1992) reside precisamente na importância de uma distinção entre epistêmicos e não epistêmicos<sup>8</sup>. Para ela, é apenas nessa distinção que podem ser avaliadas as influências de valores extrínsecos que possam acarretar em consequências moralmente indesejadas na ciência, tais como aquelas causadas pelas pesquisas científicas que suportaram a eugenia. Para que isso seja possível, em seu entendimento, “uma teoria axiológica normativa deve abordar as preocupações normativas centrais ao artigo de McMullin e integrar a compreensão mais complexa dos objetivos da ciência que emergem do trabalho de Longino” (ROLIN, 1998, p. 10).

Rolin (1998) não menciona, no entanto, os mecanismos que, de acordo com Longino (1990), têm o poder de garantir a objetividade da ciência. Entendendo objetividade como função do caráter social da ciência e intersubjetividade (a análise crítica de trabalhos por pares) como ferramenta capaz de avaliar as potencialidades constitutivas de valores idiossincráticos (subjetivos ou contextuais) e eliminar preferências subjetivas<sup>9</sup> nocivas à ciência, Longino parece mostrar o caminho

---

<sup>8</sup> Rooney (1992) e Rolin (1998) usam preferencialmente o termo epistêmico/não epistêmico, em lugar de terminologias menos ontologicamente comprometidas como constitutivo/cognitivo, sem propor (explícita ou implicitamente) qualquer justificativa a essa escolha.

<sup>9</sup> Cabe ressaltar que existe uma diferença, defendida por Longino (1990) e Lacey (2003) entre valores contextuais ou subjetivos e preferências subjetivas – essas últimas, problemáticas para o alcance dos objetivos da ciência.

necessário para que a ciência desenvolva seus próprios balizadores morais. Naturalmente, sendo uma feminista, ela não ignora o papel essencial desempenhado pela composição diversificada da comunidade científica – essa sendo uma necessidade política ainda bastante longe de ser alcançada, como bem ressalta McMullin (2000). De todo modo, a teoria de Longino (1990) propicia uma explicação para a autorregulação da ciência, sem recorrer a postulados normativos.

Rolin também parece não notar que Laudan e, principalmente, Longino, por ser foco de sua análise, definem sim o que entendem por ser o objetivo da ciência – a busca pelo melhor conhecimento dentro dos recortes e metodologias disponíveis. Suas definições, portanto, menos utópicas do que o objetivo realista da ciência, prescindem da normatividade típica da busca pela verdade, pois se dão em referência a valores mais facilmente ponderáveis e discutíveis, como a adequação empírica, a coerência e o alcance das teorias (e no caso de Longino, de alguns valores tipicamente sociais).

A fim de buscar uma resposta sobre o que é ou não epistêmico ou constitutivo, Rooney (1992) e Rolin (1998) são atraídas, mesmo que criticamente, à tese normativa de McMullin e reiteradamente interpretam valores, de quaisquer que sejam suas naturezas, como critérios. Parecem tomar distância (intencionalmente ou não) da primeira definição dos valores na escolha teórica, por Kuhn (1973; 2009): de que valores não são critérios ou normas, ou seja, de que não podem determinar inequivocamente uma escolha teórica. Outra característica essencial da noção de valores, também salientada por Kuhn (1973; 2009) é de que têm natureza parcialmente subjetiva, ainda que estejam representando aspectos dos objetos da ciência. Esses são pontos que não escapam ao escrutínio de Laudan e Longino, mas que fogem especialmente a Rooney, tornando sua proposição redundante, por um lado, e inconsistente com sua argumentação, por outro. As preocupações de Laudan e Longino parecem ser muito mais diagnósticas do que normativas: eles pretendem explicar a ciência, e não dizer como ela deve se comportar.

Se por um lado, Laudan e Longino têm algumas semelhanças – partem das mesmas incongruências entre lógicos e holistas, buscam revisar conceitos relegados como objetividade e racionalidade, são antirrealistas, defendem a importância da diversidade na ciência para seu progresso – suas teses são bastante diferentes e apresentam pontos conflitantes.

O mais explícito desses pontos é justamente o espaço aberto aos valores contextuais. Ao introduzir sua análise, Laudan (1984) é claro em dizer que, apesar do título de seu livro – *Science and Values* – ele não

pretende se remeter aos valores humanos, éticos, contextuais enfim, e sim aos valores constitutivos da ciência, aqueles que promovem os objetivos cognitivos do empreendimento. Longino (1990), por outro lado, pretende justamente o contrário: analisar como esses valores podem fazer parte da ciência, e não somente através de uma perspectiva de externalidade. São, no entanto, muito sutis essas influências, especialmente quando têm papel constitutivo na ciência e passam despercebidas às análises, especialmente aquelas focadas em histórias da ciência mais internalistas. Como exemplo, ela traz a consolidação da visão mecanicista da natureza, que delimitou campos de investigação nos séculos XVIII e XIX e resultou na tradição de pesquisa predominante até hoje na física e na química. A escolha da visão mecanicista, em detrimento da teleológica, não foi feita em termos puramente epistêmicos e cognitivos, mas também em virtude do momento sócio-histórico, com o advento das revoluções industriais.

Por ser constitutivo da ciência desde então, essa espécie de intrusão contextual passa despercebida pelas análises internalistas da história da ciência, algo que não ocorre, de fato, com outros valores que, constitutivos em uma época, já não o são mais em outra. Há, nesse sentido, uma variedade de exemplos de desenvolvimentos científicos sólidos e duradouros que, tendo sido suplantados por outros campos de investigação, são mais evidentes às análises historiográficas, tais como as pesquisas eugênicas e em diferenças sexuais – ciências consolidadas, progressivas e inclusive hegemônicas – em que valores contextuais oriundos do poder e do controle populacional pautaram questões, análises de dados e métodos, entre outros estágios da prática científica.

Entre os filósofos analisados, Longino é a única a se aventurar em articular o protagonismo de valores contextuais à dinâmica social da ciência e a objetividade e racionalidade. Isso, naturalmente, abriu precedentes para filósofos posteriores, como o australiano Hugh Lacey. Recapitulando os argumentos mais tradicionais, ele lembra que se entendia haver uma distinção relevante entre valores cognitivos e sociais. Defendia-se a que a ciência é autônoma, neutra e imparcial. Autônoma, pois idealmente os cientistas não devem admitir que a direção das pesquisas seja “moldada por valores sociais particulares” (LACEY, 2003, p. 122). Imparcial, pois as teorias não são escolhidas por meio de juízos de valores sociais. Neutra, pois as teorias científicas não implicam juízos de valor.

Ao contrário dessa concepção, no entanto, Lacey busca defender que a ciência pode não ser autônoma e/ou neutra; sua imparcialidade, no entanto, deve ser salvaguardada. “Minha defesa da distinção, diferentemente do ponto de vista tradicional, não sustenta a manutenção

dos valores sociais fora do núcleo da atividade científica, embora continue a endossar a imparcialidade” (LACEY, 2003, p. 122). A escolha teórica, de acordo com ele, deve ser feita apenas em referência a valores cognitivos. Por este motivo, Koide (2011) defende que o modelo reticulado de Laudan é abarcado pela teoria de Lacey, que é mais ampla e aborda o papel dos valores contextuais na ciência – mas apenas em pontos que não ferem a teoria da Laudan. Afinal de contas, vinte anos depois e ante as evidências propiciadas pela sociologia da ciência, a filosofia não pode mais fugir de tais questões.

Lacey (2003) argumenta que a distinção entre valores cognitivos e sociais é bastante importante e, por isso, os define. De acordo com o filósofo, um valor social é aquele que, conforme seu grau de manifestação, contribui para a realização mais completa do ideal social; ele, no entanto, só será um valor se houver condições para a manifestação desses valores sociais. Valores cognitivos, por sua vez, são aqueles que ajudam a alcançar ideais da prática científica, como obter teorias que expressem entendimento empiricamente embasado de fenômenos. Com essa distinção, é possível, para ele, defender a imparcialidade da ciência e conceder que as teses da neutralidade e autonomia são insuficientes.

Uma das palavras-chave na tese de Lacey – entendimento – é também bastante simbólica do significado do termo “valor cognitivo” escolhido por ele, cunhado por Laudan e frequentemente utilizado por Longino. São características que, manifestadas pelos objetos da ciência, têm a capacidade de promover o entendimento dos fenômenos da natureza. Peschard (2007) percebe a importância desse ponto dentre as concepções de Lacey justamente para a compreensão de dois tópicos fundamentais: a relevância de valores que não são tidos tipicamente como cognitivos na ciência e a diferença essencial entre modelos e teorias para a relação entre ciência e valores.

Peschard (2007) afirma que, se valores cognitivos são aspectos que propiciam o entendimento de fenômenos, eles não devem ser necessariamente a lista oferecida por Lacey, constituída de valores tradicionalmente reconhecidos como cognitivos – adequação empírica, poder explicativo, consistência interna, etc. As alternativas de valores cognitivos podem e devem abarcar valores menos ortodoxos – como heterogeneidade ontológica e mutualidade de interação, sugeridos por Longino (1996) -, ampliando as possibilidades de se alcançar o objetivo de se entender fenômenos naturais. Lacey (2003), ao promover uma distinção entre manifestar valor cognitivo ou ter valor cognitivo, não consegue (ou não pretende) notar a sofisticação que o termo cognitivo dota aos valores e seu papel na ciência.

Lacey (2003) defende que valores como adequação empírica e poder explicativo são intrinsecamente valiosos (valuable). Peschard (2007), no entanto, nota que não há necessariamente a promoção do entendimento dos fenômenos apenas se um objeto for adequado empiricamente ou tiver poder explicativo. É necessário que ele tenha esses valores em relação a um quadro teórico. É neste ponto, portanto, que ela mostra a importância de se distinguir entre teorias e modelos: desde Kuhn, o foco da discussão vinha se centrando nas teorias – mesmo para Longino e Lacey, que analisam a ciência como um todo, e não unicamente nos momentos de escolha teórica. Um modelo é o objeto da ciência capaz de manifestar determinados valores, que só serão cognitivos, para ela, em referência a um determinado quadro teórico, uma determinada história teórica, nos termos da filósofa.

Muitas das objeções de Peschard (2007) em relação a Lacey (e a Laudan, como consequência) são bastante plausíveis, pois mostram, em primeiro lugar, a permeabilidade do conceito de valor cognitivo aos valores que, em geral, não se atribuem à ciência. Isso, aliado à sua pertinente distinção entre objetos e teorias, mostra que existe uma dinâmica racional na avaliação de teorias, sobretudo na adequação de quadros teóricos e modelos. Essa é a história teórica, segundo a filósofa, que “restringe a construção de modelos ao prescrever o que deve ser considerado, [...] o que são as coisas que são relevantes para o entendimento de um domínio de fenômenos, que aspectos eles têm, que tipo de comportamento essas coisas têm ou o tipo de relações que podem existir entre os aspectos das diferentes coisas envolvidas” (PESCHARD, 2007, p. 166). É a história teórica que vai criar a referência na qual os valores vão ter natureza cognitiva – sejam ou não aqueles tradicionalmente reconhecidos enquanto tais.

Por mais oportunas que sejam as considerações de Peschard (2007), sobretudo em elucidar lacunas deixadas por Longino e Lacey, suas proposições se fundamentam, aparentemente, em dois aspectos, que podem ser problemáticos. Em seu trabalho, o que ela demonstra compreender enquanto valor cognitivo está muito mais próximo de uma característica do objeto do que uma interpretação de uma característica do objeto por um cientista – está mais para o objeto do que para a imagem do conhecimento. Outro pilar de sua defesa reside nas suas concepções de modelo e teoria.

A principal função de um quadro teórico é guiar e limitar a construção de certos tipos de modelos, e ele o faz não apenas propiciando leis, mas, em

primeira instância, ao dramatizar o mundo. A teoria mostra, não como uma demonstração, mas como o faz uma história, o que observar e como observar, quais são os aspectos relevantes das coisas e dos processos, quais são fundamentais, quais são aparentes, que tipos de relações existem e que tipo de desenvolvimento elas têm. É neste sentido que o quadro teórico limita o tipo de comportamento que pode e tem que ser modelado e exerce restrição no tipo de modelo que é adequado (PESCHARD, 2007, p. 152).

Esses dois fundamentos, que possibilitam a rica análise de Peschard (2007) também são, de certo modo, limitadores. Quando ela dá a entender que valores são características que basicamente emanam de teorias e modelos, ela suprime, assim como fazem Rooney (1992) e Rolin (1998), o aspecto subjetivo dos valores, tão importantes e reconhecidos desde o primeiro trabalho sobre o assunto. Ainda, quando ela afirma ser um quadro teórico o propiciador e limitador dos modelos, ela gera uma relação unívoca, em que modelos são produções de quadros teóricos acerca dos fenômenos investigados. Não concede, porém, que muitas vezes quadros teóricos são reformulados e adaptados quando da proposição de modelos que possuem grande valor cognitivo – e não em relação ao quadro teórico anterior. O sentido único da relação entre quadro teórico e modelo de Peschard restringe o papel das subjetividades dos investigadores, algo que se observa reiteradamente na história da ciência, um produto da relação de fato reticulada que existe entre quadro teórico e modelo.

Lacey (2003) e Peschard (2007) são parte de uma terceira geração de filósofos ocupados da relação entre ciência e valores. A discussão, iniciada por Kuhn na década de 1970 e continuada e contra-argumentada por McMullin no início da década de 1980, era basicamente uma crítica à maneira positivista de se pensar nas questões axiológicas da atividade científica. Laudan e Longino, por sua vez, fazem parte de um momento em que era necessário construir não apenas sobre as insuficiências da tese positivista, como também de seus primeiros críticos. Muitas nuances foram negligenciadas por Kuhn e McMullin – o que é natural, dado que foram precursores de toda uma área de reflexões filosóficas – e Laudan e Longino não se furtaram em apontar tais problemas e construir sobre eles. Lacey e Peschard parecem querer, novamente, sanar as lacunas deixadas por seus antecessores imediatos e transformam a questão axiológica em algo impressionantemente

sofisticado, mas que, por vezes, perde a essência inicial do debate. Não obstante, propõem questões que não podem ser negligenciadas e, em associação com as teses de Laudan e Longino, são valiosas também para a educação científica.

## 2.6 VALORES CONSTITUTIVOS E CONTEXTUAIS: POTENCIALIDADES PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Pode-se notar que, entre as teses de Kuhn, McMullin, Laudan e Longino, há uma variedade de perspectivas sobre a prática científica que podem e devem ser exploradas na educação científica, que há anos vem tratando das questões da natureza da ciência como importantes aspectos a serem levados ao ensino de ciências. Assim, é viável, com referência às posições opostas de McMullin e Laudan, refletir sobre os realismos – ingênuo, ontológico e científico – tema que vem ocupando alguns educadores (GRECA; SANTOS, 2005; PIETROCOLA, 2002; BARRA, 1998). É possível, com a perspectiva de Longino, tornar menos externalistas as abordagens educacionais de questões sócio-científicas. É factível, também, nuançar a perspectiva kuhniana de revoluções científicas e escolhas teóricas, já tão utilizada e criticada pela área, em relação ao seu suposto relativismo (WESTPHAL; PINHEIRO, 2004; PIETROCOLA, 1999).

Allchin (1999), por exemplo, já sinaliza para parte destas questões, fazendo um apanhado inicial bastante amplo sobre a filosofia, mas interessantemente ilustrado com episódios da história da ciência. Apesar de usar predominantemente o termo epistêmico para designar valores constitutivos e de não diferenciar valores de objetivos ou do ethos da ciência, ele traz à discussão bons exemplos de como a relação entre ciência e valores, sobretudo os sociais, não deve ser vista a partir de uma perspectiva de externalidade. Aponta, pertinentemente que “[t]ratar as pesquisas nazistas ou os experimentos sobre sífilis de Tuskegee como aberrações de uns poucos indivíduos equivocados é trivializar a profunda incorporação de valores na ciência” (ALLCHIN, 1999, p. 11).

Para ele, no âmbito da educação, é possível abordar valores na ciência de algumas formas. Numa delas, os valores éticos, por exemplo, têm espaço na sala de aula por meio de debates em que os alunos sejam levados a discutir e refletir sobre questões como sobre quem são as partes interessadas em determinadas pesquisas, quais são as consequências previsíveis de uma descoberta científica e se existem alternativas para certas inovações científicas ou tecnológicas. Sua proposição, neste sentido, se assemelha àquelas propostas no ensino de questões sócio-

científicas, mas, assim como essa metodologia, está mais focada na ética das aplicações da ciência, cuja perspectiva axiológica dominante é a da externalidade. Outra de suas propostas está relacionada com o ensino da história da ciência. “Casos históricos oferecem a vantagem de que estudantes podem ver claramente as consequências de certos valores, enquanto notam como eles funcionam em um contexto” (ALLCHIN, 1999, p. 10). Neste sentido, Allchin está se referindo a todos os tipos de valores e a estratégia dialógica também pode ter parte na abordagem histórica. Quanto aos valores constitutivos, ele sugere que sejam abordados em atividades experimentais reflexivas e também dialógicas, para que os próprios alunos passem a observar o que está em jogo na atividade.

Há bastante espaço para os valores sociais nas proposições de Allchin (1999) e menos aprofundamento em relação aos valores constitutivos da ciência. Três investigações brasileiras, no entanto, buscam focar precisamente o potencial dos valores constitutivos. Salvi e Batista (2008), por exemplo, observaram as dificuldades apresentada por professores de ciência para elencar os valores mais importantes de suas áreas de docência – física, química, biologia. Já Lucas e Batista (2011) desenvolveram uma sequência didática sobre valores cognitivos na teoria da Evolução de Darwin, que foi validada por professores. Em um outro artigo, Batista e Lucas (2013) desenvolveram uma estratégia didática para a abordagem dos valores cognitivos na teoria da seleção natural de Darwin. Para os autores, o módulo construído, apesar de não aplicado, apresenta grande proficiência em um ponto importante para as investigações em educação científica: o potencial de se ensinar ciências através da história da ciência, mediada pela análise axiológica da história.

O ponto mais importante destes três últimos estudos, que não é considerado por Allchin (1999), concerne a necessidade de aprofundamento filosófico da relação entre ciência e valores. Como se pode constatar nas proposições de Kuhn, McMullin, Laudan e Longino (e de seus sucessores, Lacey e Peschard), as discussões sobre o assunto ainda dividem a comunidade de filósofos da ciência e as perspectivas apresentadas têm se tornado paulatinamente mais sofisticadas com o desenrolar do debate filosófico. Mesmo que, na educação científica, os pormenores lógicos não sejam tão importantes, o grau de complexidade da filosofia da ciência é fruto do surgimento de novas questões fundamentais – e delas, o ensino de ciências não pode prescindir. Determinar o que é cognitivo ou não é uma tarefa difícil; mesmo à luz da história da ciência, pode-se notar diferentes valores cognitivos, a depender do tipo de história empreendida. Se não há garantias lógicas de



que a ciência esteja se aproximando da verdade, tampouco há para a sua história.

A despeito de apresentar sofisticções que podem tornar sua apropriação uma tarefa laboriosa, a dimensão axiológica da ciência e sua influência epistemológica não devem ser rejeitadas pelos pesquisadores da educação científica, pois, como ressaltam Batista e Lucas (2013), essa pode ser uma maneira de se ensinar ciências por intermédio de uma abordagem histórica. Ademais, a relação entre ciência e valores é uma forma de se observar a ciência por um prisma que revela diversos aspectos da natureza da ciência, tão em foco nas investigações em história da ciência no ensino, abordagem CTS e ensino de questões sócio-científicas.

É possível, por exemplo, analisar um trabalho emblemático sobre a natureza da ciência e a educação científica, produzido por Gil-Pérez *et al* (2001), sobre concepções equivocadas da ciência, tradicionalmente propagadas por livros didáticos e pelos professores, e sobre alguns pontos consensuais na moderna filosofia da ciência, em termos da relação entre ciência e valores. Eles elencaram, com uma ampla e profunda análise das produções da área, sete concepções da ciência que, não obstante problemáticas, ainda se perpetuam nos discursos dos professores e dos livros didáticos. De acordo com os autores, as concepções empírico-indutivista e ateórica, algorítmica, aproblemática, acumulativa, analítica, socialmente neutra e individualista estão presentes no ensino de ciências e devem gerar cautela entre pesquisadores e professores para que não continuem sendo propagadas. Eles ainda apontam cinco concepções mais adequadas sobre a ciência, consensuais na filosofia da ciência moderna: a recusa da ideia de um “Método Científico”, a rejeição de um empirismo que concebe os conhecimentos como resultados da inferência indutiva a partir de dados puros, o papel da investigação do pensamento divergente, a procura pela coerência global e o caráter social da ciência.

A concepção social da ciência – que revoga as visões empírico-indutivista e ateórica, individualista e socialmente neutra da atividade – é descrita por Gil-Pérez *et al* (2001) de três maneiras: cientistas trabalham em equipe, em linhas de pesquisa, e constroem sobre o conhecimento desenvolvido anteriormente; o trabalho científico, como qualquer outra atividade humana, ocorre dentro de uma sociedade, e “é, necessariamente, influenciado pelos problemas e circunstâncias do momento histórico, sem que isto faça supor que se caia num relativismo ingênuo incapaz de explicar os êxitos do desenvolvimento científico-tecnológico” (p. 137), e, por fim, a ação dos cientistas tem influência na sociedade. Essas três dimensões sociais, portanto, são consequências do papel da negociação de valores dentro da ciência. O caráter coletivo da prática é o que permite

a entrada de valores sociais na ciência – e que esses valores sejam regulados. Como os autores buscam afirmar, isso não acarreta que a ciência seja, necessariamente, irracional – o que mostra a utilidade, para tal discussão, das concepções de Longino (1990) sobre o caráter constitutivo de alguns valores contextuais.

Duas das concepções consensuais na filosofia da ciência elencadas por Gil-Pérez *et al* (2001) são epistemologicamente interligadas: a recusa de que existe um “Método Científico” e a negação de um empirismo-indutivo ingênuo, que parta de dados puros. Juntas, elas se constituem em contraposições às imagens empírico-indutivista e atórica e algorítmica. As ideias positivistas, por mais sofisticadas que tenham sido, procuravam descrever a ciência dentro de parâmetros de racionalidade que envolviam, na busca pelo conhecimento mais confiável, a existência de um Método Científico, que aliaría a natureza empírica da atividade com processos indutivos e dedutivos. Como se sabe, cada um dos pilares dessas concepções – método único, empirismo puro e a indução – foram pouco a pouco erodidos pelas críticas ao positivismo.

É interessante que precisamente aquilo que os positivistas buscavam eliminar de suas descrições da ciência – a permanente existência de (juízos de) valores na atividade – é hoje o que tem sido usado para salvaguardar a racionalidade científica. As teses de Laudan e Longino são ricas na ilustração de uma ciência que, mesmo complexa, humana, fluida e valorativa, busca continuamente a própria auto regulação – para Longino, através da intersubjetividade; para Laudan, por meio das relações estabelecidas entre valores, métodos e teorias – enquanto persegue o objetivo de proporcionar o melhor conhecimento possível. Certamente, não há espaço para observações neutras e atóricas, ou para o reinado absoluto do indutivismo; sem embargo, resistem a objetividade e a racionalidade da ciência – e de modo menos artificial que na narrativa positivista.

Cabe ressaltar ainda que, ao se analisar a ciência enquanto prática, ou seja, ao se efetuar a mudança de perspectiva sugerida por Longino, é possível então notar que existe, de certa forma, um método que permeia a ciência onipresentemente: a crítica intersubjetiva. É com ela que se avaliam e reproduzem os conhecimentos produzidos, que se analisa a intrusão de preferências subjetivas e que se propicia, em efetivo, a objetividade. Ademais, como é possível notar, esse método proposto pela filósofa está longe de ser rígido e algorítmico e ampara, assim, a profusão de aspectos que oferecem a história e a sociologia da ciência.

Gil-Pérez *et al* (2001) chamam de investigação do pensamento divergente a característica da ciência de se construir na dinâmica entre evidência e hipóteses. Mesmo que os autores, curiosamente, façam menção ao positivismo duas vezes – ao citar Carl Hempel e ao aderirem à dicotomia entre os contextos da descoberta e da justificativa – a relevância dessa característica da ciência é considerada na filosofia da ciência atual e, em especial, ampliada pela tese de Laudan. Naturalmente, este último não endossa a separação dos contextos, pois nota que outros fatores são tão ativos quanto evidências e hipóteses: os métodos e os valores. A relação reticulada entre ambos, como ele pretende mostrar, inibe a necessidade da distinção entre descoberta e justificativa e propicia, mesmo assim, o progresso da ciência. De todo modo, sobrevive a essência do argumento: existe uma dinâmica reticulada entre os fundamentos da ciência. Com essa característica, concepções equivocadas da ciência como a aproblemática, a empírico-indutivista e ateórica e a algorítmica não se sustentam.

Intimamente ligada à ideia de que a ciência busca o pensamento divergente está a concepção de que a procura pela coerência global é também um aspecto inerente ao trabalho e ao conhecimento científicos. “De fato, um dos fins mais importantes da ciência se assenta no estabelecimento de laços entre domínios aparentemente sem conexão”, como afirmam Gil-Pérez *et al* (2001). À vista disto, é uma concepção que revoga a ideia analítica da ciência. Embora, a rigor, a definição globalizante de coerência enquanto um objetivo da ciência – como defendem os autores – não seja epistemologicamente condizente com o que mostra a história da ciência (apenas raros grupos de cientistas buscam, de fato, promover grandes sínteses), a coerência é, com efeito, um dos valores mais importantes e frequentes na ciência, segundo os filósofos apresentados. Seguramente, uma das primeiras instâncias em que uma teoria ou um modelo são avaliados é em relação à sua coerência com os corpos de conhecimentos em vigor e sua consistência interna, sua solidez lógica. É necessário cautela, no entanto, para não se assumir a coerência enquanto o objetivo da ciência – assim como outros valores, como a adequação empírica e a verdade o são, frequente e ingenuamente.

Como se pode notar, os efeitos epistemológicos da relação entre ciência e valores constitutivos ou contextuais pode oportunizar um novo horizonte em relação a teses já bastante difundidas na educação científica, além de facultar um posicionamento crítico em relação a elas, como é o caso de (várias) concepções equivocadas do trabalho científico mantidas por professores, estudantes e materiais didáticos. Ela pode ser especialmente vantajosa, pois é oriunda fundamentalmente da

identificação da subdeterminação das teorias pelas evidências – aspecto da ciência que, abordado no ensino de ciências, pode relativizar a postura rígida e neutra que os livros e professores, em consequência de uma transposição didática que busca enfatizar conhecimentos, atribuem à atividade (CORDEIRO; PEDUZZI, 2012). Tendo em vista que livros didáticos não são e nem devem ser a fonte única de conhecimento na tríade didática, a formação de professores só tem a ganhar com a promoção da análise da dimensão axiológica da ciência (saber sábio) e da ciência do livro didático (saber a ensinar).

## 2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Se a ciência, o empreendimento epistemológico mais consolidado e estruturado, não prescinde da crítica intersubjetiva, tampouco isso ocorre com a filosofia da ciência. É o que se pode observar no progresso das teses acerca da relação entre ciência e valores – muitas vezes conflitantes, é verdade – desde suas primeiras proposições. O trabalho inaugural de Kuhn (1973; 2009), apesar das duras críticas, é um marco nessa discussão, seguido pelo trabalho igualmente criticado de McMullin (1983). Laudan (1984) e Longino (1990) buscaram segundas vias antirrealistas entre positivistas e holistas – embora Longino tenha se arriscado a ir mais longe e enfrentar a questão dos valores contextuais e seus papéis na ciência, das quais seus antecessores se esquivavam. Uma nova geração vem aprimorando ainda mais as insuficiências das filosofias de Laudan e Longino, a exemplo de Hugh Lacey e Isabelle Peschard. Cabe questionar, no entanto, até onde a história da ciência permitirá que se pague o alto preço da excessiva sofisticação epistemológica proposta por esses novos autores em nome de focos novos e úteis de análise.

De todo modo, esse progresso da filosofia da ciência parece ter surtido certo efeito em Larry Laudan, que vinte anos depois da elaboração de seu modelo reticulado, permite-se uma reflexão bastante simbólica, embora rápida, acerca dos valores contextuais na ciência.

O que eu penso que Reichenbach tinha em mente quando ele identificou o contexto da descoberta como o domínio apropriado do social é a ideia de que os processos sociais de fixação de crenças que não têm base lógica não são do interesse da filosofia (exceto talvez como sociopatologias) e seus estudos deveriam ser deixados inteiramente para os cientistas sociais. Por outro lado, pensava

Reichenbach, quando há uma justificação epistêmica para uma crença, o filósofo tem um interesse legítimo em explorar essa justificação e em argumentar a relevância dessa justificação para a própria crença. Se temos que traçar uma linha entre o social e o racional neste sentido, minha própria sugestão, certamente, seria que o filósofo deve reivindicar o interesse em todas as crenças para as quais há uma base cognitiva, e não apenas às crenças que têm base epistêmica (LAUDAN, 2004, p. 22).

Desse modo, Laudan demonstra que os valores cognitivos – aqueles importantes, na atividade científica, para escolhas de teorias que persigam os objetivos cognitivos da ciência – podem ser oriundos de sistemas de valores contextuais. Ele mesmo defende que essa é uma premissa perfeitamente aceitável, pois “todo artefato humano, incluindo as crenças e convenções humanas, se assenta sobre processos sociais de comunicação, negociação e formação de consenso” (LAUDAN, 2004, p. 22). Ou seja, mesmo que o próprio filósofo compreenda essa argumentação como ampla e vaga demais, ele se permite, ao menos de modo assumidamente tentativo, aproximar-se da ideia de ciência como prática, de Helen Longino. Ela, no entanto, não se furta de empreender essa análise e mostra como a dinâmica transformativa entre valores contextuais e constitutivos é fundamental para a objetividade científica.

Longino também empreende um outro avanço em relação às outras teses filosóficas anteriores a ela: enquanto Laudan, McMullin e Kuhn centram suas proposições em momentos de negociação de dissenso e escolha teórica, Longino ocupa-se da atividade de modo geral. Momentos de grandes controvérsias científicas ocorrem geralmente quando a comunidade se vê ante a necessidade de escolher entre duas ou mais hipóteses ou teorias; porém, como bem aponta Longino, esses momentos não são a regra na ciência e, em geral, os cientistas trabalham dentro de determinados quadros conceituais. Diferentemente dos paradigmas dogmáticos kuhnianos, no entanto, as diferenças, as subjetividades e a crítica intersubjetiva fazem esses intervalos na ciência muito mais complexos, sofisticados e, de fato, mostram que a ciência é uma prática social.

Por mais consistentes que sejam as filosofias de Laudan e Longino – ambos demonstram cautela impressionante quanto aos recursos lógicos e à adequação com suas posturas ontológicas – muitos de seus sucessores, como o próprio Lacey, ainda buscam uma teoria

normativa da ciência. De todo modo, vale evidenciar que uma demarcação atemporal, absoluta e normativa entre valores (epistêmicos/não epistêmicos, cognitivos-constitutivos/contextuais) é, sob uma análise ampla da história da constituição da ciência, tão elusiva quanto uma demarcação da própria ciência, algo bem observado por Longino (1990) e Laudan (2004).

As afirmações taxativas de Laudan quanto à natureza utópica de determinados valores, como verdade, infalibilidade, simplicidade e elegância, também podem soar, em primeira análise, como produtos de uma postura prescritiva por parte do filósofo. Entretanto, elas foram de fato constitutivas para alguns cientistas, sobretudo físicos como Einstein, quando mais velho (NORTON, 2000) e Paul Dirac, cuja simplicidade constitutiva foi inclusive criticada por Heisenberg e Euler (1935). Neste contexto em que filosofia e história da ciência se contradizem, em que o sujeito é forçado a escolher entre lógica e história, abre-se, novamente, espaço para a nuance irracional da ciência, algo que a concepção de prática científica, da filósofa Helen Longino, é capaz de assumir, englobar e caracterizar, novamente, como parte de um processo mais amplo – este sim, de admirável racionalidade.

## 2.8 REFERÊNCIAS

ALLCHIN, D. Values in Science: an Educational Perspective. **Science&Education**, v. 8, n. especial, p. 1, 1999.

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.

BARRA, E. S. O. A realidade do mundo da ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. **Ciência&Educação**, v. 5, n. 1, p. 15, 1998.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31, 2005.

HEISENBERG; W.; EULER, H. Consequences of Dirac's theory of the positron. **Physics Review**, v. 48, n. 55, 1935.

KOIDE, K. I. **O papel dos valores cognitivos e não-cognitivos na atividade científica: o modelo reticulado de Larry Laudan e as estratégias de pesquisa de Hugh Lacey**. 2011. 179f. Dissertação: Mestrado em Filosofia – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 9ª ed., 2006.

KUHN, T. S. (1973) Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, p. 363, 2009.

LACEY, H. Existe uma distinção relevante entre valores cognitivos e sociais? *Scientiae Studia*, v. 1, n. 2, p. 121, 2003.

LAUDAN, L. **Science and values: the aims of science and their role in scientific debate**. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1984.

LAUDAN, L. The Epistemic, the Cognitive, and the Social. In: MACHAMER, P.; WOLTERS, G. (eds.). **Science, Values, and Objectivity**. University of Pittsburgh Press, Universitätsverlag Konstanz, 2004.

LAUDAN, L. **O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico**. São Paulo: Editora UNESP, 2011.

LONGINO, H. **Science as a social knowledge: values and objectivity in scientific inquiry**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

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.

MARICONDA, P. R. O controle da natureza e as origens da dicotomia fato e valor. *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 453, 2006.

MATTHEWS, M. R. **History, Philosophy, and Science Teaching**. Nova York, Londres: Routledge, 1994.

McMULLIN, E. Values in Science. In: **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**. The University of Chicago Press, v. 2: Symposia and Invited Papers, p. 3, 1983.

McMULLIN, E. Values in science. In: NEWTON-SMITH, W. H. (ed). **A companion to the philosophy of science**. Oxford: Blackwell Pub., 2000.

NORTON, J. D. 'Nature is the realization of the simplest conceivable mathematical ideas?': Einstein and the canon of mathematical simplicity. **Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v. 31, n. 2, jun. 2000.

PESCHARD, I. The Value(s) of a Story: theories, models, and cognitive values. *Principia*, v. 11, n. 2, p. 151, 2007.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213, 1999.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 89, ago. 2002.

ROLIN, K. What should a normative theory of values in science accomplish? In: **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**. The University of Chicago Press, v. 1: contributed papers, 1998.

ROONEY, P. On values in science: is the epistemic/non-epistemic distinction useful? In: **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**. The University of Chicago Press, v. 1: contributed papers, p. 13, 1992.

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.

WESTPHAL, M.; PINHEIRO, T. C. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências. **Ciência&Educação**, v. 10, n. 3, p. 585, 2004.



### 3 CIÊNCIA E VALORES NA “DESCOBERTA” DOS PRIMEIROS ELEMENTOS TRANSURÂNICOS<sup>10</sup>

#### Science and values in the “Discovery” of the first transuranic elements

##### Resumo

Feitas por meio de bombardeamentos com partículas, as pesquisas nucleares ganharam novo alento logo ao início da década de 1930, quando foram feitas descobertas como a do nêutron e da radioatividade artificial. Por não sofrer com a barreira coulombiana, o nêutron foi utilizado pela equipe italiana, liderada por Enrico Fermi, para bombardear os núcleos de elementos pesados – levando a comunidade científica a compreender que, daquele modo, conseguiram descobrir o elemento 93, o primeiro transurânico. A química analítica alemã Ida Noddack foi a única a levantar a hipótese de que, naqueles experimentos, tivesse sido produzida a cisão dos núcleos; a comunidade científica, no entanto, deu pouca importância à conjectura – e a fissão nuclear foi descoberta, efetivamente, apenas em 1939, cinco anos depois. Neste trabalho, analisa-se esse episódio histórico pelo viés da relação entre ciência e valores cognitivos e contextuais e propõe-se uma interpretação da prematuridade da descoberta da fissão nuclear nos termos axiológicos. Enfim, discutem-se as potencialidades dessa análise para o ensino de ciências, sobretudo dentro de uma perspectiva de valorização e atualização de questões sobre a natureza da ciência no ensino.

##### Abstract

Through the irradiation of nuclei with different particles, the nuclear research gained new momentum right at the start of the 1930s, with the discoveries of neutron and artificial radioactivity. Indifferent to the Coulomb barrier, the neutron was used by the Italian team led by Enrico Fermi, to bombard the nuclei of heavy elements - leading the scientific community to believe they've managed to produce the element 93, the first transuranic. German analytical chemistry Ida Noddack was the only one to raise the hypothesis that, instead of transuraniums, those experiments induced a nuclear break-up; the scientific community, however, gave little importance to her conjecture – and nuclear fission was discovered, effectively, only in 1939, five years later. In this paper, this historical episode is analyzed from the perspective of the relationship between science and cognitive and contextual values. It is proposed an

---

<sup>10</sup> Artigo submetido a publicação em fevereiro de 2015.

interpretation of prematurity of the discovery of nuclear fission in axiological terms. Finally, the potential of this analysis for Science teaching is discussed, aiming to update some questions about the nature of science in Science education.

**Palavras-chave:** fissão nuclear, valores cognitivos, valores contextuais, prematuridade, natureza da ciência

**Keywords:** nuclear fission, cognitive values, contextual values, prematurity, nature of science

### 3.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a definição dada originalmente em 1972 pelo biólogo e filósofo Gunther Stent (2007a, p. 53), uma descoberta científica é prematura quando as implicações da descoberta “não puderem ser conectadas por uma série de simples etapas lógicas ao conhecimento canônico contemporâneo (ou geralmente aceito)”. Isso pode levá-la a não ser reconhecida ou apreciada pelos pares; a comunidade, mesmo conhecendo a descoberta, não se posiciona em relação a ela. Para ele, envolvido nas investigações sobre genética molecular, a descoberta de que o DNA constitui a substância da hereditariedade foi uma descoberta prematura: feita primeiramente em 1944, foi pouco apreciada pela comunidade até 1952, quando novos experimentos trouxeram de fato o foco à questão.

Cerca de três décadas mais tarde, Stent (2007b) reconheceu no trabalho de diversos historiadores, filósofos e sociólogos da ciência sobre o assunto, uma variedade de exemplos de descobertas prematuras em diversas áreas da ciência. Ele enfatiza, no entanto, uma descoberta em especial, “(que é provavelmente o caso mais pejado de consequências da prematuridade de uma descoberta científica do mundo), a fissão nuclear” (STENT, 2007b, p. 533).

Com as descobertas do pósitron, do deutério e (sobretudo) do nêutron, em 1932, e da radioatividade artificial, em 1934, físicos e químicos que estudavam a constituição dos núcleos chegaram a descobertas fundamentais, que permitiram avanços significativos em suas pesquisas. Tais descobertas propiciavam meios suficientes para novas investigações dos núcleos e, inclusive, produzir elementos mais pesados do que o urânio (HAHN, 1946). Assim, naquele mesmo ano de 1934, Enrico Fermi publicou um artigo denominado “Possível produção de elementos de número atômico maior que 92” (FERMI, 1934), em que

aventava ter produzido, em colaboração com sua equipe, o elemento de número atômico 93 e, possivelmente, os de número 94 e 95, com o bombardeamento de nêutrons térmicos.

Logo após esta publicação, a química alemã Ida Noddack escreveu um trabalho apontando uma série de problemas nas análises de Fermi que deveriam ser revistas; era necessário descartar diversas possibilidades – entre elas, a de que houvera uma cisão no núcleo do urânio bombardeado – antes de se aceitar a produção dos transurânicos (NODDACK, 1934). Os mais importantes grupos de pesquisa envolvidos com física nuclear e radioquímica – os grupos italiano, francês e de Berlim, além do de Cambridge – tiveram acesso ao trabalho (HOOK, 2007; SEABORG, 2007). Eles prosseguiram com quase todas as investigações sugeridas por Noddack, menos com a hipótese de que o núcleo se partira. Entre os anos de 1934 e 1939, os elementos transurânicos fizeram parte dos cânones da física e da química nucleares. A despeito de suas inconsistências e incoerências, eles constituíam uma área intrigante de pesquisa e já estavam consolidados (SEABORG, 2007). Enrico Fermi recebeu, em 1938, o Prêmio Nobel da Física, “por suas demonstrações da existência de novos elementos radioativos produzidos pela irradiação de nêutrons e por sua descoberta correlata das reações nucleares viabilizadas por nêutrons lentos”<sup>11</sup>.

A “primeira” descoberta dos elementos transurânicos foi, na verdade, um episódio histórico protagonizado por químicos e físicos, de áreas diferenciadas como a química analítica, a radioquímica e a física nuclear, que vinham trabalhando em conjunto desde a descoberta da radioatividade natural e da proposição do modelo atômico de Rutherford-Bohr, isto é, há pelo menos três décadas. Era uma área de investigação interdisciplinar, portanto, o que faz com que Hook (2007) conclua que este foi um tipo diferente de prematuridade – foi um caso de dissonância interdisciplinar: o que, em 1934, não era prematuro para a química analítica de Noddack, o foi para a física nuclear e para a radioquímica, de Fermi e outros importantes cientistas, como Otto Hahn e Lise Meitner.

As características que definem as condições de contorno da prematuridade (ou da dissonância interdisciplinar, como prefere Hook (2007)) na descoberta dos transurânicos, sobretudo a coletividade, a parcialidade dos cientistas e a negociação de valores cognitivos – além da subdeterminação das teorias pelas evidências – são aspectos consensuais na filosofia da ciência mais contemporânea, particularmente entre os

---

<sup>11</sup> [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/) Acesso em: 17 de julho de 2014.

filósofos que tratam da relação entre ciência e valores. Tais características reanimaram as defesas da objetividade e da racionalidade científica, que haviam enfraquecido com as contundentes críticas ao positivismo lógico. São, portanto, de especial interesse dos acadêmicos do ensino de ciências que, nos últimos anos, alcançaram um consenso acerca da importância de se ensinar não apenas a ciência, mas sobre ela – isto é, que é fundamental que haja espaço nas aulas de ciências para discussões sobre a natureza da atividade científica.

Para apresentar as potencialidades da abordagem de ciência e valores na educação científica, este trabalho empreende uma análise axiológica do episódio de prematuridade da descoberta da fissão nuclear. Primeiramente, expõem-se as mais importantes teses filosóficas protagonizadas pela relação entre ciência e valores. A seguir, introduzem-se os argumentos acerca da prematuridade, ou dissonância interdisciplinar, da sugestão de Ida Noddack sobre a quebra dos núcleos, em 1934. Assim, lança-se uma perspectiva axiológica sobre o episódio: que valores foram invocados pela comunidade científica para a preferência da hipótese dos transurânicos, em detrimento da cisão nuclear? Esses valores tinham natureza puramente cognitiva? Que evidências estavam disponíveis aos cientistas na época – e como elas se ajustavam às duas hipóteses aventadas? Busca-se elucidar, enfim, que certos conceitos filosóficos, apesar de suas inerentes complexidades, podem ser compreendidos a partir de algumas visões da história da ciência e têm potencialidades para a educação científica, principalmente à formação de professores de todos os níveis.

### 3.2 CIÊNCIA E VALORES

Adequação empírica, precisão preditiva, coerência, consistência, fertilidade são alguns dos aspectos que se espera que bons conhecimentos científicos apresentem. Ao contrário do que era compreendido pelos positivistas, no entanto, eles não podem ser regras para determinar as escolhas teóricas. Thomas Kuhn (2009a) bem apontou, com o suporte da história da ciência, que esses aspectos, quando buscados individualmente ou mesmo quando invocados em associação não são capazes de levar a uma escolha teórica inequívoca. Esse ponto é fundamental e simbólico da filosofia da ciência pós-positivista: juízos de valor fazem parte da atividade científica.

Ser ponto pacífico entre filósofos mais contemporâneos não significa, no entanto, que sejam consensuais os demais aspectos das filosofias da ciência em que valores são protagonistas. Outras perguntas

precisam ser agregadas à concordância de que juízos de valor são parte fundamental da ciência. Com que objetivos são feitos esses juízos de valor? Quais são seus parâmetros? Eles acarretam em uma atividade irracional? O conhecimento produzido com juízos de valor deixa de ser objetivo? Quais são os valores que se pode buscar na escolha teórica? Juízos de valor podem ocorrer em outros momentos da atividade científica?

Kuhn (2009a), o primeiro a trazer à discussão os juízos de valores na escolha teórica, defendia que os valores invocados pelos cientistas para fazer suas escolhas eram aspectos historicamente importantes para a ciência e que, diferentemente de gostos, eram intrinsecamente abertos a discussões e ponderações na comunidade científica. Essa abertura à discussão dos valores típicos da ciência, para o filósofo, poderia significar um tipo novo de objetividade e, para ele, salvaguardava a racionalidade da ciência.

Foi um trabalho que, apesar de estar na sombra de sua tese mais ampla, foi seminal para uma série de análises axiológicas dos mais variados tipos. Na década de 1980, o surgimento de uma corrente realista fez com que Ernan McMullin (1983; 1984) erigisse, sobre a relação entre ciência e valores kuhniana, uma perspectiva realista da ciência. Ele retomou o trabalho de Kuhn e, revisitando sua perspectiva, defendeu que certos valores são testemunhos históricos da aproximação do conhecimento científico da verdade, seu objetivo final. Por isso, chamou esses valores de valores epistêmicos.

Também no começo daquela década, Larry Laudan (1984), complementando sua visão da ciência como uma atividade de resolução de problemas, escreveu um livro sobre a relação entre ciência, valores, resolução de problemas, racionalidade e progresso na ciência, dentro de uma perspectiva antirrealista. Para ele, o que caracteriza a ciência como empreendimento racional é justamente o fato de os cientistas, quando defrontados com o dissenso e outros problemas, serem capazes de ajustar teorias, métodos e valores. Esses valores não têm, para Laudan, a capacidade de levar à um conhecimento verdadeiro, mas a relação reticulada entre eles, teorias e métodos é o único caminho para o progresso da ciência, que ele entende ser a proposição de conhecimentos que alcançam nossos objetivos cognitivos. Por este motivo, ele os chamou de valores cognitivos.

Helen Longino (1990) vai mais longe que seus antecessores e não se restringe a analisar somente a influência dos valores típicos da ciência (epistêmicos para McMullin (1983) ou cognitivos para Laudan (1984)). Ela alega que os valores contextuais, de natureza social, econômica, ética

e tecnológica, por exemplo, também fazem parte da atividade científica, mas não apenas em um padrão de externalidade, ditando que pesquisas são ou não continuadas ou financiadas. Em todas as instâncias da atividade, Longino (1990) defende a impossibilidade de cientistas sozinhos impedirem que valores contextuais, oriundos das subjetividades dos praticantes da ciência, façam parte de suas atividades – justamente em virtude das subdeterminações que enfrentam ante evidências e métodos. Muitas vezes, esses valores contextuais vão ter caráter constitutivo na ciência; o que pode impedir sua má influência, no entanto, é a intersubjetividade da ciência, ou seja, a circulação do conhecimento entre pares.

É justamente esse caráter social da ciência que, para a filósofa, pode fazer com que os métodos da ciência sejam objetivos e que mostram que a ciência é racional. Ela compreende, logicamente, que a limitação desta autorregulação da ciência reside justamente na sua composição. Quanto mais diversificada for essa composição, maiores são as chances de que membros da comunidade consigam notar possíveis preferências subjetivas perniciosas ao conhecimento científico. São necessários, além disso, meios de divulgação e circulação do conhecimento científico e igualdade intelectual entre os membros. A objetividade pode ser prejudicada à medida em que a comunidade for mais fechada à crítica intersubjetiva.

A história da “primeira descoberta” dos elementos transurânicos – assim como outros episódios da história da ciência – é naturalmente repleta de juízos de valores, e sua análise permite notar que esses valores não são rígidos, absolutos e ahistóricos. São, pelo contrário, aspectos que dependem fortemente de outros sistemas de referência, seja teórico, seja social. Pode-se notar, igualmente bem, que tiveram importâncias e articulações diferentes para os vários atores envolvidos com irradiação de urânio com nêutrons naquele momento. Neste sentido, a contribuição de Kuhn (2009) é especialmente relevante.

Contudo, o que torna este episódio particularmente interessante é o fato de que a interpretação de valores como adequação empírica, consistência externa e simplicidade guiaram a maior parte da comunidade científica – e sobretudo os especialistas em física nuclear e radioquímica, a área específica daquelas investigações – à conclusão mais tarde compreendida como equivocada. Entre os fatores que levaram a isso estão, além da própria concepção de valor, o fato de que certos valores contextuais podem ter feito parte da escolha teórica feita pela comunidade e impediram a salutar intersubjetividade, essencial, segundo Longino (1990), à objetividade da ciência.

### 3.3 A DISSONÂNCIA INTERDISCIPLINAR NA FISSÃO NUCLEAR: UMA PERSPECTIVA AXIOLÓGICA

#### 3.3.1 A “descoberta” dos transurânicos pela equipe italiana de Fermi

A década de 1930 foi marcante na história da física nuclear, cujas origens remontam ao limiar do século com a descoberta da radioatividade natural. De certo modo, as pesquisas sobre os núcleos atômicos passavam por uma estagnação desde a descoberta do próton e da transmutação artificial, em 1919; as partículas-alfa, os melhores projéteis disponíveis para as investigações nucleares, eram insuficientes para a pesquisa de átomos mais pesados, pois sofriam grande repulsão eletromagnética. A partir de 1932, as descobertas do pósitron, do deutério e, sobretudo, do nêutron, além de elucidar a composição do núcleo atômico e a concepção de isótopos, começaram a suscitar novas investigações sobre os núcleos (HAHN, 1946).

Com estes novos conhecimentos, Irène e Frédéric Joliot-Curie bombardearam átomos de boro e alumínio com partículas-alfa. O resultado foi a produção de nitrogênio e fósforo, respectivamente, além da emissão de um nêutron. O que o casal francês notou, no entanto – e que passara despercebido por outros pesquisadores como Ernest Lawrence, na Califórnia, e Ernest Rutherford, em Cambridge (FRISCH, 1967) – foi que, após a espera de tempo pertinente, os átomos de nitrogênio e de fósforo começavam a decair com emissões de pósitrons, transformando-se em carbono e silício, respectivamente – ou seja, produzindo elementos imediatamente inferiores na tabela periódica (HAHN, 1946). À semelhança de Marie e Pierre Curie, que descobriram juntamente com Henri Becquerel a radioatividade natural mais de trinta anos antes, sua filha Irène e seu genro Frédéric descobriam a radioatividade artificial.

Com essa descoberta, as potencialidades do nêutron mostraram-se finalmente – mas não a todos os membros da comunidade. A maioria, aliás, seguiu o mesmo padrão de pesquisa que fazia desde a descoberta da transmutação artificial, em 1919, e do nêutron, em 1932: buscaram replicar e adaptar os experimentos dos Joliot-Curie, bombardeando outros elementos com prótons, partículas-alfa e deutério (FRISCH, 1967; FERMI, 1934), procurando produzir outros isótopos artificiais. Apenas o grupo italiano, liderado por Enrico Fermi, decidiu empreender bombardeios com nêutrons para ver se assim também se produziriam núcleos radioativos. De fato, conseguiram e, quatro semanas depois da descoberta dos Joliot-Curie, publicaram seus primeiros resultados. A

diferença na percepção do fenômeno por parte dos italianos, como explica Frisch (1967, p. 46), foi a chave do sucesso.

Eu lembro que minha reação, e provavelmente a de muitos outros, era de que o experimento de Fermi era bobo, pois havia menos nêutrons que partículas-alfa. O que esse argumento simples ignorava logicamente era que eles eram muito mais eficientes. Nêutrons não perdem velocidade para elétrons e não são repelidos pelo campo coulombiano do núcleo.

De fato, o próprio Fermi (1934) reconheceu esse diferencial da utilização de nêutrons em seu artigo. O que ele e sua equipe encontraram, no entanto, foi bastante intrigante. Explica que puderam observar, em geral, três tipos de reação: uma em que o núcleo bombardeado emitia uma partícula-alfa, transformando-se em um elemento de número atômico  $Z-2$ ; uma segunda, em que o núcleo emitia um próton, resultando em um elemento de número atômico  $Z-1$  e um último tipo, em que o nêutron era absorvido pelo núcleo irradiado, produzindo um isótopo artificial. Os dois primeiros tipos de reação ocorriam com maior frequência entre os elementos leves; o terceiro tipo era mais típico do bombardeamento de elementos pesados, como tório e urânio (FERMI, 1938).

Contudo, os decaimentos subsequentes dos isótopos artificiais do urânio – o mais estudado pela equipe, e sobretudo por Franco Rasetti e Oscar D'Agostino, segundo Fermi (1934; 1938) – eram bastante difíceis de compreender. A atividade dos novos elementos produzidos muitas vezes era muito similar às do próprio urânio, dificultando discernir as separações que seriam mais pertinentes (SEGRÉ, 1989). Conseguiram distinguir cinco períodos de decaimento diferentes – de 10 e 40 segundos, de 13 e 40 minutos e de 1 dia – mas tais curvas de decaimento era difíceis de precisar, inviabilizando a determinação sobre as reações serem sucessivas ou alternadas (FERMI, 1934).

Dentre as atividades, escolheram determinar a de 13 minutos. Descartaram, por meio de separações químicas, a possibilidade de ser um isótopo dos elementos 92 (urânio), 91 (protactínio), 90 (tório), 89 (actínio), 83 (bismuto) e 82 (rádio). Por análise do comportamento químico da amostra de 13 minutos, excluíram a chance de ser os elementos 87 (frâncio, chamado por Fermi (1934) de eka-cesium) e 86 (radônio, chamado por Fermi (1934) de emanção). Ele finaliza seu artigo declarando que essas evidências negativas sugerem que elementos de



número atômico 93 e talvez 94 e 95 tenham sido produzidos no bombardeamento. Havia uma evidência, embora insuficientemente sólida, de que o elemento produzido era homólogo ao manganês e ao rênio, o que apontava teoricamente para a possibilidade da produção do elemento 93.

### **3.3.2 A conjectura de Noddack e a dissonância interdisciplinar de Hook**

O tom cauteloso de Fermi permeia todo o artigo (FERMI, 1934), desde o título “Possível produção de elementos de número atômico maior que 92” até as conclusões finais. Em virtude do significado da descoberta, essa reação era algo natural; ele conjecturava, afinal, ter produzido elementos transurânicos, o que despertava a curiosidade de químicos e físicos há algum tempo, mas que não fora até então viabilizado.

Entretanto, quatro meses após a publicação dos artigos da equipe italiana, Ida Noddack, uma conhecida química analítica alemã, escreveu um artigo (NODDACK, 1934) levantando diversas objeções aos métodos e consequentemente aos resultados da equipe italiana.

Em primeiro lugar, ela salienta que os métodos de separação de isótopos, por precipitação com dióxido de manganês, não são confiáveis, pois na química analítica se sabia que diversos compostos, átomos e coloides em solução de ácido nítrico também se precipitavam. Nada de definitivo poderia ser concluído por tais métodos, portanto. Uma outra objeção se relacionava à negligência inexplicada da equipe italiana em relação ao polônio (84), não descartado como possível produto do bombardeamento, enquanto todos os outros elementos entre 92 e 82 o foram. Ela lembra que o polônio teria se precipitado com o dióxido de manganês. “Assim, a prova de que o novo radioelemento (de 13 minutos) tem número atômico 93 não é em nenhum sentido bem sucedida, pois o método de Fermi para eliminar outras possibilidades não foi feito por completo” (NODDACK, 1934, p. 654). Ela ainda aponta mais uma inconsistência: eles eliminaram (quase) todas as possibilidades de produção de elementos até o chumbo (82). A antiga premissa de que decaimentos radioativos estendiam-se apenas até o chumbo ou tálio (81) fora refutada justamente pela descoberta da radioatividade artificial, processo que eles tentavam replicar com o auxílio de nêutrons. Para ela, antes de conjecturar a produção de transurânicos, Fermi deveria ter esgotado todas as opções suportadas pela teoria vigente.

Mas, no caso de se estar propondo novidades, Noddack é categórica ao declarar:

Pode-se assumir igualmente bem que, quando nêutrons são usados para produzir desintegrações nucleares, ocorram algumas reações nucleares distintamente novas que não tenham sido observadas previamente por meio de bombardeamentos de núcleos atômicos com prótons ou partículas-alfa. No passado, descobriu-se que a transmutação dos núcleos apenas acontece com a emissão de elétrons, prótons ou núcleos de hélio, fazendo com que os elementos pesados passem por pequenas mudanças de massa, produzindo elementos vizinhos. Quando átomos pesados são bombardeados com nêutrons, é concebível que o núcleo quebre em vários grandes fragmentos, que seriam logicamente isótopos de elementos conhecidos, mas não vizinhos dos elementos irradiados. (NODDACK, 1934, p. 654, grifos adicionados)

Ela continua apontando insuficiências nas investigações de Fermi afirmando que a similaridade entre o elemento 93 e o rênio – e sua consequente precipitação com o sulfeto de rênio – não era garantida; além disso, a precipitação com sulfeto de rênio não seria conclusiva, pois esse composto absorve rapidamente diversos materiais. Por fim, ela indica que, se o elemento 93 tivesse sido produzido, ele sofreria um decaimento beta e se transformaria em um elemento 94, fato não investigado pelos italianos. Uma segunda parte de seu trabalho é dedicado a objetar a alegada descoberta em condições naturais do mesmo elemento 93 por O. Kobic – esta descoberta retirada logo após suas refutações.

Interessantemente, Noddack (1934) afirma notar a cautela de Fermi no seu primeiro trabalho, mas demonstra-se preocupada com a reação subsequente dele, de sua equipe e da comunidade de investigadores nucleares sobre a certeza desta descoberta. Naqueles quatro meses, de fato, a comunidade já começara a abraçar a nova descoberta – e a convicção acerca dos transurânicos aumentou com o tempo, apesar das pertinentes objeções levantadas pela química (HOOK, 2007). Para físicos nucleares e radioquímicos, os novos elementos já faziam parte do corpo de conhecimento aceito, apesar de seus problemas.

Antes de propor que a sugestão de Noddack tenha sido de fato a descoberta prematura da fissão nuclear, Hook (2007) investigou se esse não foi um caso de negligência por desconhecimento. Com sua revisão

bibliográfica, pode constatar que não: Otto Hahn e Lise Meitner, em Berlim, mencionam ter tomado conhecimento do artigo; Emilio Segré afirma que o grupo italiano recebeu e leu o trabalho; Seaborg (2007) reitera ter lido o artigo, enquanto aluno de pós-graduação, em Berkeley. Além disso, o trabalho dela apareceu em compêndios sobre o assunto no período entre 1934 e 1938, como o de Quill (1938). Suas objeções, portanto, não passaram despercebidas àqueles que investigavam fenômenos nucleares.

Como Hook (2007) pode constatar, há, nos relatos acerca da ‘descoberta’ de Fermi, muito consenso sobre determinadas investigações empreendidas pelas equipes da época, sobretudo em relação às lacunas experimentais apontadas por Noddack. Diversos cientistas – entre eles, Hahn e Meitner – puseram-se a descartar justamente a possibilidade de produção do polônio, que Fermi não havia considerado, além da posterior sugestão de Aristid von Grosse sobre os italianos terem produzido o elemento 91 (protactínio). Por outro lado, há diversas contradições sobre o tipo de atitude que tomou a equipe italiana ao receber as contestações de Noddack – sobretudo em relação à sugestão da produção de elementos de número atômico muito mais baixo. Hook (2007) salienta justamente as incongruências entre as diversas vezes em que Segré discorreu sobre o assunto – é possível que Fermi tenha feito alguns cálculos das massas, para investigar a possibilidade de uma fissão, à sugestão da química alemã, e com eles descartou a conjectura. Outras pessoas próximas a Fermi, como Edoardo Amaldi, membro de sua equipe, e Laura Fermi, sua esposa, também demonstraram posições dissonantes sobre o assunto. E não apenas a equipe italiana não parece ter se dedicado a essa investigação. Hook (2007, p. 227) enfatiza:

[N]ão pude encontrar na literatura da época um comentário sequer acerca dos obstáculos teóricos entrevistados (errôneos como provariam ser mais tarde) para a investigação experimental da hipótese de Ida para a produção de elementos com número atômico mais baixo, como uma alternativa à vindicação dos transurânicos.

Curiosamente, Hook (2007) também constatou que sequer a própria Ida Noddack buscou investigar a possibilidade da quebra dos núcleos. Noddack e seu marido, Walter, eram químicos analíticos reconhecidos. Na década de 1920, declararam ter descoberto dois elementos, o masúrio (43) e o rênio (75). Apenas a descoberta do rênio

foi confirmada, manchando a reputação do casal. Apesar disto, na década de 1930 eles tinham seu laboratório e levavam suas pesquisas normalmente. Aparentemente, a comunidade de químicos e físicos nucleares se acalmou depois que foram descartadas as produções de polônio e protactínio com o bombardeamento de urânio com nêutrons e sequer considerou a sugestão da química alemã.

Os comentários de Noddack, em nível empírico, lógico e crítico, provinham de uma bem-dotada química analítica, porém com insuficiente base teórica para avaliar a enormidade daquilo que ela aventara. Não há evidência escrita, anterior à descoberta da fissão, seja lá o que Ida tenha dito depois, de que ela mesma haja levado muito a sério a sua proposta (HOOK, 2007, p. 228).

Essa negligência por parte da comunidade científica, inclusive pela própria propositora da cisão nuclear, para Hook (2007), é bastante simbólica de um tipo específico de prematuridade na descoberta científica: a dissonância interdisciplinar. Ele chega a essa conclusão com a associação de diversos fatos, oriundos de sua pesquisa, a saber: a timidez da conjectura de Noddack, os cânones da ciência nuclear da época e o fato de ela não ser radioquímica.

A estrutura do artigo de Noddack (1934), de fato, transparece um tom cauteloso, e Hook (2007) acredita que esse possa ter sido um dos fatores de pouca atenção dos cientistas à sua conjectura. O autor aponta, pertinentemente, que sua hipótese surge no décimo dos dezoito parágrafos do artigo; antes, Noddack dedica-se a trabalhar as inconsistências lógicas e experimentais do trabalho de Fermi. Além disso, sua sugestão não é feita de maneira abrupta, mas como um apontamento de que se pode conjecturar igualmente bem a produção de outros elementos já conhecidos na tabela periódica, embora de número atômicos bem menores que os esperados. Esse tom de cautela fez com que os críticos se dedicassem mais a solucionar os problemas metodológicos de Fermi e, tendo-os esclarecido, negligenciassem a sugestão.

Some-se a isso o fato de que a físicos e químicos nucleares não estavam preparados teoricamente para aceitar a possibilidade. O físico estadunidense Luis Alvarez (1987, p. 73), que trabalhava em Berkeley naquela época, descreve um dos pilares dos cânones da época:

Ninguém levou Noddack a sério. A noção de que o urânio pudesse se transformar em um elemento

mais leve do meio da tabela periódica sob o bombardeamento de nada mais energético que um nêutron térmico era auto-evidentemente ridículo; para que isso ocorresse, ele deveria se partir, e o núcleo, conforme achávamos antes do modelo da gota líquida de Bohr, era mais duro que a pedra mais dura, mantido junto por forças poderosas – poderosas o suficiente para resistir as repulsões elétricas de todos os prótons. Todos sabiam que a partícula alfa [...] era o maior pedaço de material nuclear que poderia ser arrancado de um átomo.

Hook (2007, p. 218) adiciona detalhes mais vívidos à explicação:

O fenômeno da fissão era tão imprevisível como se, depois de alguém ter disparado projéteis contra uma sucessão de edifícios crescentemente maiores, infligindo danos menores em cada um deles, quando um dos projéteis atingisse o nonagésimo segundo edifício, ele ruísse, dividido em duas partes.

A possibilidade de quebra de um núcleo era, portanto, desconsiderada por todos, em virtude da magnitude bem conhecida da força que segurava os prótons, apesar da repulsão elétrica. Era o pilar teórico físico dos cânones da ciência nuclear das décadas de 1920 e 1930. Sendo a área uma área fronteira entre física e química desde a descoberta da radioatividade, havia também o pilar químico: a premissa de que os elementos transurânicos seriam homólogos ao rênio, ósmio, irídio e platina (SIME, 1989, QUILL, 1938). É possível notar, em todo o artigo de Fermi (1934), uma coerência com essa expectativa química: para ele, o elemento 93 teria comportamento semelhante ao do rênio.

As convicções teóricas oriundas da física e da química dificultavam para um físico nuclear ou um radioquímico imaginar que tal fenômeno aconteceria, como bem afirma Alvarez (1987). No entanto, em nome do rigor, Noddack (1934) reitera que se deveria esgotar todas as possibilidades já conhecidas da tabela periódica. Fritz Strassmann, químico com formação analítica que trabalhou com Lise Meitner e Otto Hahn, também relatou ter contado a Meitner sobre a possível produção de bário radioativo no bombardeamento de urânio com nêutrons – hipótese que foi descartada pela física austríaca. Esses fatos, para Hook (2007, p.

231), são simbólicos de que, enquanto a fissão era prematura para a ciência nuclear, não era para a química analítica.

Os químicos nucleares encontravam-se, sem dúvida, muito próximos do campo da física, e restringidos por suas proibições teóricas. Todavia, os químicos (analíticos), a julgar pelo exemplo de Noddack e, pelo que tudo indica, de Strassmann, pareciam ter tido poucas restrições vindas desta parte [...] mas estavam muita mais preocupados com as evidências “analíticas” diretas das vindicações.

Considerando esses três fatores, Hook (2007) defende então que o caso da fissão não foi um caso de prematuridade propriamente dito, mas um caso de dissonância interdisciplinar, de menor escala. Para a química analítica, a fissão nuclear não tinha o caráter prematuro que tinha para a física e a química nuclear, o que permitiu a Noddack conjecturar o fenômeno. Entretanto, ela própria parece ter aceitado o destino de sua hipótese, por não ter buscado levar a diante investigações naquele sentido. Os transurânicos foram aceitos na comunidade (SEABORG, 2007), apesar de todos os problemas experimentais que essa interpretação carregava. Em 1938, em virtude da ‘descoberta’ dos transurânicos, Fermi recebeu o Prêmio Nobel de Física, a maior distinção científica. Para a comunidade, aqueles elementos estavam consolidados como parte do cânone da ciência nuclear.

### **3.3.3 Valores cognitivos e a prematuridade da fissão**

O relato da ‘descoberta’ dos transurânicos, assim como a análise do tipo de prematuridade da fissão nuclear feitos por Hook (2007) ilustram claramente como certas observações são feitas à luz de pressupostos teóricos, além de serem influenciadas por outros fatores. Escolhas teóricas e interpretações, mesmo na ciência, não são pautadas por seqüências metodológicas rígidas e racionais – no sentido tradicional, positivista da concepção – como fica claro na história da ciência nuclear do ano de 1934.

Importa adicionar um fator cognitivo importante àqueles enunciados por Hook (2007): a expectativa da produção de elementos mais pesados que o urânio, desde que transmutações artificiais

começaram a ser executadas, em 1919, por Rutherford. Hahn (1946) menciona o interesse nesses resultados, embora saliente as reconhecidas dificuldades experimentais para alcançar tal feito, antes das descobertas do nêutron e da radioatividade induzida. Segré (1989, p. 38) é mais explícito, afirmando que “[b]ombardear urânio com nêutrons apresentava-se como um caso especialmente interessante, pois poderíamos esperar produzir o elemento 93, o primeiro elemento transurânico, por uma reação  $(n,\gamma)$  seguida de um decaimento beta”. Ele ainda lembra o entusiasmo demonstrado por Franco Rasetti em relação aos experimentos. Quill (1938), em uma revisão sobre o estado da arte das pesquisas sobre elementos transurânicos até aquele ano, reitera a expectativa entre cientistas acerca dos limites da tabela periódica antes da descoberta da radioatividade artificial.

A convicção teórica de que o núcleo não se poderia partir, tipicamente física, vinha do modelo nuclear da gota líquida, proposto primeiramente no fim da década de 1920 por George Gamow. Com ele, difundiu-se amplamente a compreensão de que a maior parte que se poderia extrair de um núcleo era uma partícula-alfa (ANDERSEN, 1996; STUEWER, 1994) – e essa convicção tinha forte amparo empírico, já que, desde a descoberta da radioatividade, nada fugira a esse padrão. O que se tinha, então, por parte da física, era um princípio teórico bastante firme, sólido e preciso.

Por parte da química, uma premissa ainda mais antiga também foi usada reiteradamente; ela tinha suas raízes nas primeiras concepções de Mendeleev e sua organização da tabela periódica. Extrapolava-se que, sendo o elemento seguinte na coluna do rênio, o elemento 93 teria propriedades similares às dele, como ocorria na organização periódica (SEABORG, 2007; SEGRÉ, 1989; SIME, 1989). Por este motivo, Hahn e Meitner se referiam ao elemento como eka-rênio<sup>12</sup>, uma nomenclatura típica de Mendeleev<sup>13</sup>. Assim como o modelo nuclear da gota líquida e as consequentes transmutações artificiais possíveis, esta era mais uma premissa com grande suporte experimental e amparo histórico.

Ao proferir sua Conferência Nobel, Otto Hahn (1946, p. 56) destaca que “[d]e acordo com a posição da ciência da época, a afirmação de Fermi deveria estar correta e o elemento de 13 minutos deveria ser um

---

<sup>12</sup> Ao contrário de Hahn e Meitner, a equipe italiana batizou os elementos transurânicos ‘descobertos’. Chamaram-nos *ausenium* (93) e *hesperium* (94).

<sup>13</sup> Eka, em sânscrito, significa *um*, e foi utilizada como prefixo por Mendeleev aos elementos faltantes na sua tabela periódica, em relação aos elementos vizinhos já conhecidos.

representante do elemento 93, ou seja, um transurânico”. De fato, para físicos e radioquímicos, a interpretação da produção de transurânicos era consistente externamente, ou seja, era coerente com o corpo teórico da época. Esse corpo teórico, por sua vez, estava solidamente amparado pela experiência. Era nada mais, nada menos, que o modelo nuclear da gota líquida, sustentado empiricamente por duas décadas de transmutações nucleares, e a lógica de organização da tabela periódica. Ademais, dentro de uma determinada perspectiva, a interpretação de Fermi também era, ela própria, adequada empiricamente. Como afirma Hahn (1946, p. 55-56), indutivamente, a experiência parecia apontar para a produção dos transurânicos.

Fermi e seus colaboradores continuaram seus testes [de bombardeamento com nêutrons térmicos] por toda a Tabela Periódica, até o urânio. Aqui [no urânio] eles também encontraram muitas transmutações produzidas por nêutrons, inclusive algumas bastante rápidas. Eles procederam da suposição óbvia de que são produzidos isótopos de urânio artificiais, ativos, de curta meia-vida; como eles emitiam raios- $\beta$ , Fermi inferiu a produção dos chamados ‘transurânicos’ [...] Desde a descoberta do nêutron e a aplicação de fontes artificiais de radiação, um grande número das mais incomuns reações nucleares foi descoberto; os produtos sempre eram isótopos das substâncias irradiadas, ou seus vizinhos imediatos ou, no máximo, vizinhos em duas casas no Sistema Periódico; a possibilidade de uma quebra de núcleos atômicos pesados em vários menores era considerada completamente excluída.

Consistência externa e adequação empírica são dois dos aspectos mais buscados nas teorias científicas. Enquanto características do conhecimento, são determinantes para que ele seja julgado sólido e confiável. No entanto, como fica claro no exemplo da ‘descoberta’ dos transurânicos, eles, por si só, são incapazes de conduzir a uma escolha teórica inequívoca. Não são normas ou regras, como Kuhn (2009a) bem apontou em seu trabalho seminal; funcionam, de fato, como valores. Podem ter significados diferentes para os diversos participantes do episódio histórico. Este foi o caso da falha na interpretação dos experimentos de bombardeamentos de urânio com nêutrons.



Em relação à adequação empírica, por exemplo, o próprio Fermi (1934) demonstra bastante cautela, tanto no título, quanto em diversas passagens. Segré (1989), salienta as dificuldades experimentais enfrentadas pela equipe de Roma. Os elementos recém-produzidos tinham atividades próximas àquelas do urânio, tornando difícil a identificação da melhor forma de separação. Era custoso sequer compreender se os decaimentos estavam ocorrendo em série ou em paralelo. Enfim, a conclusão de Fermi (1934, p. 899) é feita em relação a evidências negativas e vacilantes.

Essa evidência negativa acerca da identidade da atividade de 13 minutos com um grande número de elementos pesados sugere a possibilidade de que o número atômico desse elemento possa ser maior que 92. Se ele fosse um elemento 93, seria quimicamente homólogo ao manganês e ao rênio. Essa hipótese é amparada até certo ponto pelo fato de que a atividade de 13 minutos é carregada por um precipitado de sulfeto de rênio insolúvel em ácido clorídrico. Entretanto, como vários elementos se precipitam facilmente nesta forma, essa evidência não pode ser considerada muito forte.

Segundo Segré (1989), esse artigo atraiu as atenções de todos, inclusive da imprensa, algo que Fermi não desejava. Como se pode notar, seu tom cuidadoso revela que ele compreendia as imprecisões de seus experimentos e a necessidade de investigações ulteriores. É interessante pontuar, então, as diferentes facetas que a adequação empírica pode tomar: se, por um lado, a comunidade em geral considerou precisa a interpretação da descoberta dos transurânicos, sobretudo em virtude também da consistência externa com pilares da física e da química (HAHN, 1946), por outro lado, Fermi – ao menos inicialmente – conhecia certas limitações de cunho empírico que não garantiam tal exatidão à sua interpretação.

Em razão de seu amplo conhecimento em química analítica, essas imprecisões empíricas não passaram despercebidas por Ida Noddack, que demonstrou rigor e clareza cirúrgicos em suas objeções. Contundentemente, ela salientou sobre a identificação a partir da precipitação com dióxido de manganês que “[e]sse método de prova não é válido [...] sabe-se na química analítica que vários elementos precipitam com dióxido de manganês se estiverem presentes como compostos,

átomos ou colóides numa solução de ácido nítrico” (NODDACK, 1934, p. 654). A interpretação de Fermi, mesmo que consistente com alguns pressupostos físicos e químicos, era inconsistente com os conhecimentos também sólidos da química analítica.

A inconsistência não se restringia à química analítica, mas também ocorria em relação à recém descoberta radioatividade induzida. Ela repara que eles descartaram quase todos os elementos entre o urânio e o chumbo, a partir de uma premissa oriunda da radioatividade natural, em que os decaimentos ocorriam até a produção do chumbo. No entanto, com a descoberta dos Joliot-Curie, esse não era mais o caso – e eram precisamente fenômenos de radioatividade induzida que os italianos investigavam. Era necessário, portanto, excluir todos os elementos conhecidos antes de propor a detecção de um desconhecido.

Hipóteses e teorias geralmente dialogam em uma dinâmica típica do trabalho científico; no caso de Fermi e seus colaboradores, no entanto, os procedimentos metodológicos, a escolha de dados e o rigor da investigação parecem ter sido determinados por uma expectativa inicial – a da produção dos transurânicos – que era consistente com alguns fundamentos físicos e químicos das pesquisas nucleares da época. Além das insuficiências da determinação da precipitação do elemento com dióxido de manganês, eles se abstiveram, sem explicação, de investigar se o polônio se precipitaria. Caso tivessem, como afirmou Noddack (1984), teriam notado que o polônio seria uma alternativa interpretativa. A escolha dos dados e dos procedimentos, por parte da equipe italiana, ilustra claramente como a noção de adequação empírica, ou precisão, é relativa aos referenciais teóricos, e portanto neste caso, à consistência externa. Mas consistência externa, por sua vez, também é relativa às teorias referenciais dos cientistas. A afirmação de Kuhn (2009a), secundada por filósofos como Laudan (1984) e Longino (1990), é demonstrada claramente com a história da vindicação dos transurânicos: certos aspectos do conhecimento científico são essenciais durante as escolhas teóricas feitas pelos cientistas, mas são valores, e dependem também de quem faz seus juízos.

O importante décimo parágrafo do trabalho de Noddack traz o que Stent (2007b) entende ser a descoberta prematura dos elementos transurânicos, e o que Hook (2007) chama de dissonância interdisciplinar. Nela, Noddack (1934) aponta bem que, diante de todas aquelas objeções, seria igualmente plausível esperar que o núcleo do urânio bombardeado houvesse se partido, dando origem a dois fragmentos de tamanho médio, artificialmente radioativos. Neste parágrafo, Noddack (1934) demonstra

que, dentro das condições teóricas e empíricas do trabalho, uma cisão era identicamente plausível.

É interessante observar que até a escolha da interpretação mais simples depende intrinsecamente de outros fatores. No caso de Fermi, era mais simples compreender o fenômeno como produção de transurânicos, embora ele aparentasse, mesmo em relação a essa descoberta, estar bastante comedido. Para Noddack (1934), por outro lado, essa não era a interpretação mais simples. De fato, sua conclusão de que “[p]ode-se assumir igualmente bem” (NODDACK, 1934, p. 654) que o bombardeamento de urânio com nêutrons produzia fragmentos maiores de elementos mais leves demonstra que a simplicidade, para ela, em vista das diversas objeções levantadas, residia em outras hipóteses – inclusive na quebra. Relativamente ao que cada um entendia por consistência externa, ambos proporcionaram interpretações diferentes – que efetivamente compreendiam ser mais simples.

Diferentemente de outros valores cognitivos, simplicidade não é consenso entre os diversos filósofos que se ocupam do tema. Kuhn (2009a) confere à simplicidade a mesma relevância que a coerência, adequação empírica, alcance e fertilidade. McMullin (1983), por outro lado, faz ressalvas em relação ao possível caráter epistêmico da simplicidade; para ele, pela natureza estética e altamente arbitrária de simplicidade, ela não pode levar a uma aproximação da verdade – que é o que o filósofo irlandês entende por objetivo da ciência. Mais radical ainda, Laudan (1984) se opõe taxativamente ao caráter cognitivo da simplicidade, que ele entende como valor utópico e, mais ainda, como um sinal de irracionalidade no trabalho científico.

Seja arbitrária ou utópica demais para ter caráter epistêmico ou mesmo cognitivo para os filósofos, a história da ciência mostra que, de fato, muitas vezes a simplicidade de um conhecimento foi fator importante para a sua aceitação. No próprio caso da ‘descoberta’ da fissão, ela fica implícita nos trabalhos de Noddack e Fermi e, de modo mais importante, está explícita em um trabalho do grupo italiano, escrito por Amaldi e colaboradores (1935). Quase um ano depois do primeiro de uma longa série de artigos sobre bombardeamento com nêutrons, Amaldi et al (1935) se reportavam sobre a produção de nêutrons lentos ou térmicos e sua efetividade em ativar diversos núcleos, inclusive o do urânio. Em uma primeira passagem, para justificar os estudos sobre emissões gama, afirmam que “[a] suposição mais simples é admitir que o nêutron é capturado pelo núcleo, com a formação de um isótopo uma unidade de massa mais pesado” (AMALDI, 1935, p. 527, grifos adicionados). Ao fim do artigo, concluem: “A mais simples interpretação

consistente com os fatos conhecidos é assumir que as atividades de 15 segundos, 13 minutos e 100 minutos são produtos em cadeia, provavelmente com números atômicos 92, 93 e 94 respectivamente e massa atômica de 239” (AMALDI et al, 1935, p. 553, grifos adicionados). Em outras palavras, eles demonstram claramente que entendiam a simplicidade dos transurânicos em relação a fatos conhecidos – ou seja, relativamente a uma concepção específica de consistência externa.

Curiosamente, neste artigo, eles não mencionam as objeções de Noddack, apesar de apresentarem uma nova atividade obtida com o bombardeamento de urânio com nêutrons, a de 100 minutos. Com essa atividade, puderam corrigir uma incoerência interna que foi apontada pela física. No emblemático artigo de 1934, a equipe aventa a possibilidade de ter produzido também o elemento 94, mas não o relacionam com o decaimento beta do novíssimo elemento 93. Essa incoerência interna, bem sinalizada por Noddack (1934), é retificada, embora de modo bastante superficial, nas conclusões do artigo de 1935 (AMALDI et al, 1935).

Quando propôs sua explicação para a subjetividade na escolha teórica, Kuhn tentava mostrar que mesmo fatores intrínsecos à atividade científica não eram plenamente objetivos. Valores, segundo ele, não eram capazes de guiar uma escolha teórica inequívoca. A história da ‘descoberta’ dos transurânicos e da vindicação de Noddack sobre uma cisão dos núcleos mostra isso claramente, e enfatiza o caráter relativo dos valores, que têm interpretações diferenciadas, dependendo do contexto de cada cientista.

Hook (2007) enfatiza que a cisão nuclear, por ter sido, entre outros motivos, apenas sugerida por Noddack no décimo parágrafo de seu artigo, faz com que esta não tenha sido a descoberta prematura da fissão nuclear. Para ele, a dissonância entre radioquímica/física nuclear e química analítica faziam com que essa interpretação fosse prematura para os primeiros campos, mas não para o último. Quando se analisa a questão da prematuridade e da dissonância interdisciplinar em termos da relação entre ciência e valores, pode-se examinar a conjectura da química alemã por um diferente ângulo. Em razão de conhecer os referenciais teóricos da pesquisa dos italianos, dedica cautelosamente os nove primeiros parágrafos a refutar, ponto por ponto, os problemas empíricos e lógicos da vindicação do grupo. De uma área externa à dos radioquímicos e físicos nucleares, ela tinha que fazer entender suas objeções, algo que ela faz com precisão aguçada. Ida Noddack precisava demonstrar que, apesar de ser estrangeira àquelas pesquisas, tinha a capacidade de objetá-las justamente por ser especialista na área cujos métodos foram tomados

emprestados no artigo do grupo italiano. Hook (2007) interpreta sua proposição como tímida demais para se configurar numa conjectura prematura da fissão nuclear; pode-se supor, igualmente bem, que ela tenha sido proposta com a diplomacia e o cuidado necessários a uma pesquisadora de fora de uma determinada área de investigação.

Longino (1990) aponta que, dentro dos mecanismos da intersubjetividade, há diversas sortes de críticas ao conhecimento. Eleita pela filósofa como o tipo de crítica mais importante, a crítica conceitual quanto à relevância das evidências em relação à hipótese que supostamente sustenta “equivale a questionar as crenças e pressupostos de fundo à luz dos quais certos estados de coisas se tornam evidência, que é crucial para o problema da objetividade” (LONGINO, 1990, p. 73). Noddack (1934), em seu décimo parágrafo, culmina com este tipo de crítica um árduo trabalho, realizado nos parágrafos anteriores, de críticas metodológicas, de solidez e consistência externa – algo longe de se constituir em uma tímida sugestão, nesta perspectiva.

De todo modo, Noddack não continuou suas pesquisas sobre o assunto, embora tivesse o amparo instrumental necessário, como bem aponta Hook (2007). Para ele, esse é mais um sinal de que sua conjectura não passou de uma sugestão ante os problemas lógicos do trabalho de Fermi. De fato, qualquer pesquisador investido em corroborar sua conjectura executaria os experimentos que fossem necessários. Há, no entanto, uma série de fatores tácitos – a começar pelo fato de não ser uma especialista na área – que têm efeito em diversos grupos sociais e que podem ter parcialmente causado a desistência da química alemã nos meses que se seguiram. Esses fatores, entretanto, não têm natureza cognitiva, mas sim, contextual.

### **3.3.4 Valores contextuais e a prematuridade da fissão**

Antes de deliberar sobre a dissonância interdisciplinar como causadora da conjectura de Noddack sobre a quebra dos núcleos, Hook (2007) elimina a possibilidade da negligência pelo desconhecimento, assegurando-se de que os maiores grupos de pesquisa da época tinham tido contato com o artigo de Ida Noddack. Além de descartar essa possibilidade, o autor busca também eliminar fatores contextuais que possam ter levado ao descaso em relação à sugerida cisão dos núcleos – preconceito devido a uma reputação científica questionável, preconceito atribuível a uma antipatia pessoal ou política e preconceito devido ao gênero.

Na década de 1920, Ida e seu marido Walter Noddack reivindicaram a descoberta dos elementos 43 e 75. Propuseram que

fossem batizados, respectivamente, de masúrio e rênio. Receberam diversas objeções, às quais responderam solidamente em relação ao rênio, mas não ao masúrio. Mantiveram-se reticentes e, quando defrontados sobre as condições de descoberta do masúrio na forma natural, alegaram estar sem possibilidade de fornecer evidências. O elemento 43 viria a ser realmente descoberto em 1937, por Emilio Segré e Carlo Perrier – quando foi produzido artificialmente por esses cientistas. Por não ser natural, foi batizado de tecnécio, nomenclatura até hoje utilizada. Essa vindicação equivocada provocou uma mancha na reputação do casal.

Muitos foram os relatos sobre aqueles cinco anos entre as descobertas dos ‘transurânicos’ e da fissão, em 1939, justamente pelo caráter tardio desta última. Cientistas diretamente envolvidos, como Otto Hahn, Glenn Seaborg e Luis Alvarez, ao tocar, vários anos depois, no assunto da conjectura de Noddack, justificaram não terem se ocupado da possibilidade em virtude sobretudo da manchada imagem da química analítica (HOOK, 2007; ALVAREZ, 1987). É interessante, então, que no seu primeiro artigo sobre a possível produção de bário com o bombardeamento de urânio com nêutrons – o artigo considerado emblemático da descoberta da fissão – Hahn e Strassmann tenham se referido ao elemento 43 como masúrio, e não tecnécio, como cunhado meses antes por Segré e Perrier (HAHN; STRASSMANN, 1939).

Além de uma reputação científica questionável, os Noddack tinham preferências políticas conflitantes com as de Hahn, Meitner e (mais tarde) de Strassmann. Enquanto o casal de químicos analíticos era simpático ao nazismo, os radioquímicos eram pacifistas e contrários aos avanços de Hitler. Meitner tinha origem judaica, e apesar de ter se tornado cristã quando se mudou para a Alemanha, foi perseguida pelo Nazismo até imigrar para a Suécia, em 1938. Além das diferenças políticas, havia antipatia de ordem pessoal entre os grupos, que gerou inclusive trocas animosas de artigos após a descoberta da fissão nuclear de 1939, em virtude da indiferença de Hahn e Strassmann à sugestão de Ida Noddack. As questões políticas e pessoais, no entanto, restringiam-se ao contexto alemão. Embora, logicamente, aquele fosse um período de expansão nazista, cujos inimigos primários eram a França e a Inglaterra, Hook (2007) não faz menção a divergências políticas entre o casal e os grupos desses últimos países.

Enfim, o terceiro preconceito descartado por Hook (2007) diz respeito ao gênero. Na Europa da década de 1930, as mulheres ainda não tinham os mesmos direitos políticos e, especialmente, educacionais que os homens. Assim, ele busca refutar a ideia de que a sugestão de Noddack tenha sido negligenciada em virtude de ela ser mulher lembrando que,

naquela época, apesar das grandes dificuldades enfrentadas pelas mulheres, vários grandes nomes da área eram justamente femininos: com o pioneirismo de Marie Curie, sua filha Irène Curie, do grupo de Paris, e Lise Meitner, vieram a se tornar grandes especialistas na área. Para Hook (2007), dificilmente essas últimas omitiram-se em relação à conjectura em razão do machismo da época.

Certamente, os argumentos de Hook (2007) relativos a esses três tipos de preconceito são convincentes, embora o exame de artigos científicos e mesmo autobiografias dificilmente deixariam transparecer evidências em favor dessas discriminações. Preferências subjetivas, como afirma Longino (1990), conseguem se infiltrar facilmente na atividade científica, embora isso possa ocorrer de modo silencioso e bastante sutil. É significativo que, anos depois, diversos cientistas envolvidos nas investigações tenham assumido que a reputação de Noddack tenha sido fator relevante para o descaso da comunidade. Preconceitos de ordem política e de gênero também são difusivos – mas dificilmente seriam assumidos, mesmo muitos anos depois.

Hook (2007, p. 212) demonstra compreender que “[...] um juízo emitido na perspectiva atual seja sem dúvida sujeito ao próprio viés”, mas defende achar extremamente improvável que tais preconceitos tenham afetado a escolha dos cientistas. Sua perspectiva de análise, no entanto, focada nas questões de prematuridade, não proporciona o ângulo menos anacrônico que a relação entre ciência e valores pode propiciar.

O aspecto primordial do trabalho de Kuhn (2009a) era justamente o de apontar que certos fatores não são perfeitamente determinantes em uma escolha teórica, mas que a guiam, dentro de certos limites. Esse era o espaço das subjetividades na escolha teórica, segundo o filósofo. No entanto, ele se restringiu a tratar somente dos aspectos tipicamente científicos, que para realistas ganharam o nome de valores epistêmicos, e para antirrealistas, de valores cognitivos. A herança de Kuhn, contudo, foi a de mostrar que, na ciência, a articulação entre diversos valores tem o efeito de conduzir escolhas teóricas – porém, essa articulação depende de cada cientista.

Longino (1990) então, observa que não são apenas valores cognitivos que se articulam para a escolha teórica dos cientistas, mas também valores contextuais. Os cientistas, afinal de contas, não trabalham em um contexto científico hermeticamente fechado – são seres culturais. Suas práticas científicas, por conseguinte, são influenciadas por subjetividades e preferências subjetivas. Isso seria nocivo à ciência, é verdade, se ela fosse um empreendimento individualista, o que não é o caso. É precisamente a coletividade da ciência que pode fazer a regulação

das preferências subjetivas nocivas ao conhecimento. Em outras palavras, a intersubjetividade da ciência – ou seja, a circulação dos conhecimentos produzidos – é a única maneira capaz de propiciar objetividade ao conhecimento. Naturalmente, quanto mais heterogênea for uma comunidade científica, maior a objetividade do conhecimento. Isto é, quanto mais diferenciada for a dimensão axiológica da ciência e entre os cientistas, maiores as possibilidades de, na crítica intersubjetiva, eliminarem-se valores contextuais problemáticos para a ciência.

No caso da conjectura de Noddack, fica bastante clara a articulação de valores cognitivos como adequação empírica, consistência externa e simplicidade – sobretudo na concepção de um grupo majoritário de físicos nucleares e radioquímicos. É curioso, portanto, que, em termos cognitivos, não se tenha tentado refutar suas objeções. O próprio Hook (2007, p. 227) afirma não ter encontrado um trabalho sequer dirigido à refutação da conjectura da cisão levantada por Noddack.

Tendo essa disparidade cognitiva em vista, é impossível negar que outros valores, de natureza contextual, como aqueles advindos de preconceitos político, pessoal, de gênero ou pela reputação científica, tenham tido espaço na escolha teórica. Como se viu, havia argumentos sólidos, tanto de natureza metodológica quanto lógica, nas objeções de Noddack – e eles sequer receberam a mesma importância que aquelas levantadas por Aristid von Grosse, sobre a possibilidade da produção do protactínio, que foram com efeito investigadas tanto pelos italianos, quanto por Hahn e Meitner (FERMI et al, 1934).

Cabe enfatizar, assim, que a intersubjetividade na ciência, naquele momento, foi menor devido ao fato de que radioquímicos e físicos nucleares estavam comprometidos com uma determinada dimensão axiológica – que envolvia certas interpretações específicas de valores cognitivos e possivelmente contextuais – e pouco se abriram em relação às sugestões de Noddack. Não se prontificaram a executar a investigação de um pensamento divergente, de ponderar as fontes de erro, de replicar experimentos e avaliar as possibilidades dentro dos parâmetros da química analítica – para eles, aquele era o conhecimento mais objetivo que poderiam alcançar, dentro de seus sistemas axiológicos. Foram necessários cinco anos de anomalias, materializadas em imprecisões empíricas e incoerências internas fortes o suficiente para que a interpretação da cisão fosse aceita – o que acarretou certamente em uma mudança na dimensão axiológica da ciência da época.

Esse sistema axiológico, ou conjunto de valores, mantidos pelos cientistas nucleares também tem raiz em outro valor contextual, que teve papel constitutivo naquele momento histórico: a autoridade. É notável na



descrição de Hook (2007) o apelo, feito reiteradamente pelos cientistas da época, ao crivo da autoridade constituída por Hahn e Meitner.

Otto Hahn e Lise Meitner foram uma das duplas mais importantes da história da física nuclear. Sua longa parceria, que datava do fim da primeira década do século XX, foi tão prolífica que, na década de 1930, já eram conhecidos como dois dos maiores especialistas em radioquímica. Juntos, descobriram o protactínio e desvendaram certos mecanismos da emissão beta, dentro das possibilidades teóricas da época. Mesmo durante a Primeira Grande Guerra, em que Hahn serviu ao exército alemão, Meitner o manteve informado das investigações que ela executava, e considerava suas interpretações, recebidas através de cartas (SIME, 1996).

Interessantemente, na primeira metade da década de 1930, ambos estavam concentrados em linhas de investigação distintas. A objeção de von Grosse, acerca da produção do protactínio pelo bombardeamento de urânio com nêutrons chegou a eles, os descobridores do elemento, reacendendo a parceria. É notável a importância dos experimentos feitos por eles, como aval para refutar a produção do protactínio naquela reação nuclear, alegados pela equipe italiana na série de artigos sobre seus experimentos, como Fermi et al (1934), Amaldi et al (1935) e Quill (1938) deixam claro.

Os italianos, liderados por Fermi, também eram extremamente renomados, mas seu foco na física nuclear era bastante recente. O casal Joliot-Curie, por sua vez, sempre esteve focado na física nuclear – estiveram próximos da descoberta do nêutron e haviam descoberto a radioatividade induzida, pela qual receberiam o Prêmio Nobel de Química em 1935. O estudo do fenômeno, de natureza nuclear, era próprio da física. Embora fossem grupos igualmente renomados e respeitados, o reconhecimento da natureza de elementos radioativos e seus aspectos, objeto da radioquímica, via em Hahn e Meitner os indiscutíveis especialistas da época.

Mesmo não intencionalmente, a autoridade de certos grupos parece ter funcionado como valor na escolha teórica, como se pode notar nas revisões de Hook (2007) e Quill (1938). É um valor tipicamente contextual, que desempenhou, na época, função constitutiva. Longino (1990) aponta que um dos fatores essenciais para intersubjetividade na ciência depende da igualdade de autoridade intelectual. O que se observa em relação à conjectura de Noddack é, justamente, o desequilíbrio de autoridades: a irrelevância atribuída à sua sugestão da cisão somada à grande importância dada às corroborações de Hahn e Meitner.

Em retrospecto, pode-se notar o efeito que a articulação de determinados valores cognitivos e contextuais tiveram no atraso da descoberta da fissão nuclear. É fundamental salientar, no entanto, que por cinco anos os transurânicos de Fermi foram considerados parte integrantes dos cânones da física e da química nuclear. Parte do Prêmio Nobel da Física agraciado a Enrico Fermi foi em virtude desses novos elementos. E, justamente por isso, foram investigados tão a fundo que puderam gerar anomalias capazes de conduzir à descoberta da fissão nuclear, pertinentemente ou não, em 1939, ano de eclosão da Segunda Grande Guerra. Esse episódio histórico é rico na ilustração de que valores cognitivos são relativos e não são unicamente utilizados pelos cientistas em suas práticas. Mais ainda, ilustra bem que valores contextuais invadem reiteradamente a ciência, e fazem parte dela por muitos anos.

### 3.4 CONTRIBUIÇÕES EDUCACIONAIS

Uma reivindicação antiga na área de ensino de ciências, é a atualização curricular, especialmente para a física, mas também para a química e mesmo na biologia. Nesta busca, as revisões bibliográficas de Ostermann e Moreira (2000) e de Pereira e Ostermann (2009) mostram um interesse acadêmico explícito em temáticas de física moderna e contemporânea, na forma de propostas de inserções e movimentos de mudanças curriculares mais amplas. Juntamente a esta reivindicação, programas governamentais, como o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino de Ciências Naturais, os PCN+ (BRASIL, 2002), vêm obtendo sucesso em aperfeiçoar livros didáticos para que abranjam também esses temas.

A aproximação entre a física moderna e o ensino ainda enfrenta a barreira da tradição escolar engessada, cujos protagonistas são exercícios e problemas de quebra-cabeça centrados na física clássica. A habitual transposição didática dificulta certas inserções, como as de física quântica, por exigir justamente uma matematização que está fora do alcance das escolas do ensino médio (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005). Para o ensino de física moderna e contemporânea, portanto, é fundamental uma mudança de postura didática em relação aos conteúdos – o que é, também, salutar para a física clássica, dados os problemas que o ensino desses conteúdos também gera.

Um dos tópicos de física moderna e contemporânea listados por Ostermann e Moreira (2000) é justamente a fissão nuclear. O fato de ser um conhecimento físico com tantas implicações sociais, como por

exemplo a produção de energia e a indústria bélica, e históricas – justamente pela produção da bomba atômica e da corrida armamentista, eventos que guiaram drasticamente os panoramas político, econômico e social no último século – garantiu, sem maiores surpresas, o lugar deste conhecimento na lista dos pesquisadores.

É natural, portanto, que a maior parte das pesquisas voltadas ao assunto busque justamente uma contextualização mais tecnológica e social. Na própria revisão de Ostermann e Moreira (2000), os trabalhos encontrados sobre o assunto envolviam armas nucleares e debates políticos (inclusive uma inovação curricular holandesa na perspectiva CTS), além do Projeto Harvard com viés histórico. A revisão posterior e mais atualizada de Pereira e Ostermann (2009) também localizou o mesmo padrão de associação entre fissão nuclear, bombas e energia, em quantidade maior de trabalhos. Temas controversos e a perspectiva CTS são de fato importantes para o ensino, e a física nuclear tem sido abordada a partir deste viés em trabalhos como o de Samagaia e Peduzzi (2004), Pinto e Marques (2010) e Sorpreso e Almeida (2012), que propõem módulos, os de Souza e Germano (2009) e Valente et al (2008), que revisam livros didáticos sobre o assunto e também os de Machado e Nardi (2006; 2007), que envolvem os conhecimentos sobre fenômenos nucleares abordados no módulo “Tecnologia e Sociedade”, em uma hipermídia educacional.

Desde uma perspectiva histórica, como a deste trabalho, as investigações encontradas têm sido escassas e superficiais. Flôr (2008; 2009) toca no assunto, mas seu objetivo é a (efetiva) descoberta dos transurânicos, em 1940. Bassalo e Freire (2003) também tangenciam a temática, ao descrever a importância da amizade entre o físico brasileiro Jayme Tiomno e o John Wheeler, que desenvolveu com Bohr uma explicação para desencadeamento da fissão. Outros trabalhos, como os de Xavier et al (2007) e Souza e Dantas (2010), falam superficialmente da história da física nuclear, centrando sobretudo em nomes e datas.

Se por um lado, então, a física nuclear tem sido objeto um tanto usual de abordagens CTS e de questões sociocientíficas, por outro, ela pouco tem sido explorada historicamente, para o ensino de ciência, embora haja contribuições fundamentais disponíveis na literatura feitas por historiadores, biógrafos e, sobretudo, cientistas participantes daquele momento histórico. Uma análise desavisada da literatura em ensino de ciências pode, portanto, enfatizar uma dicotomia entre abordagens externalista e internalista deste conhecimento, o que, como se procurou mostrar neste trabalho, não se sustenta, mesmo nos anos iniciais dessa

ciência, em que a corrida pela bomba atômica ainda não era sequer cogitada.

O ensino apoiado na história da ciência tem suas convergências com aquele feito por meio da abordagem de temas controversos, a saber, o objetivo de ensinar a e sobre ciência. Não é sem razão que algumas pesquisas já estejam sendo voltadas para a abordagem de episódios históricos como fontes de questões sociocientíficas (KOLSTOE, 2008). A história da vindicação errônea dos transurânicos – assim como todo o restante da história da fissão nuclear – tem grandes potencialidades neste sentido, pois além de propiciar um conhecimento histórico sobre esse episódio peculiar, mostra o quanto ele também foi carregado de influências contextuais na avaliação de teoria por parte dos pesquisadores. Apesar de não terem apelo tão dramático quanto bombas atômicas, lixo nuclear e geração de energia, questões acerca de gênero, preferência política, reputação científica manchada e autoridade – e suas influências nos espaços mais aparentemente fechados da atividade científica, como a escolha teórica – são de fato também controversas e devem ter espaço nas aulas de ciências enquanto o objetivo for tratar de sua natureza.

À luz de uma perspectiva historiográfica mais atual, a dicotomia entre abordagens históricas internalistas e externalistas pode empobrecer o relato de um episódio da ciência, que ocorre, naturalmente, dentro das fronteiras sociais e tecnológicas. Entretanto, enfatizar fatores contextuais em detrimento de fatores cognitivos ou epistêmicos (e vice-versa) tem ocorrido usualmente na área de pesquisa em ensino de ciências, como puderam notar Oliveira e Silva (2012). Em uma revisão dos anais do Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e do Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), esses autores notaram que, dentre os relatos de intervenções histórica nas aulas de ciências desde o ano 2000, oito focaram em uma perspectiva externalista, dois tinham natureza internalista e quatro apresentavam as duas abordagens. Em outras palavras, notou-se que abordagens históricas pautadas em CTS sobrepujaram as abordagens mais focadas apenas nos fatores internos da ciência. A partir de um ponto de vista referenciado nas relações entre ciência e valores, no entanto, trabalhos de cunho histórico podem ter uma sustentação filosófica capaz de evitar essa dicotomia, que também é considerada ultrapassada na filosofia da ciência.

Evidenciar como valores contextuais mais específicos de um momento histórico se tornam constitutivos na física e na química tem se mostrado uma dificuldade para historiadores, justamente por seus recortes, supostamente mais objetivos (LONGINO, 1990). A história da vindicação equivocada dos transurânicos mostra que possivelmente esses

valores contextuais desempenharam algum papel na escolha dos cientistas – coibindo, inclusive, uma potencial controvérsia científica mais ampla. No entanto, como Longino (1990) mesma afirma, não são apenas os momentos de escolha teórica que envolvem valores contextuais, mas também etapas de tratamento de dados, interpretação de resultados, pressuposições amplas e específicas. Exemplos de episódios históricos científicos, mais precisamente da biologia, podem mostrar essas influências mais claramente, como no caso da eugenia, das investigações sobre sífilis em Tuskegee e das diferenças raciais e sexuais.

Em geral, episódios da história da ciência como esses últimos, e mesmo o da enganada descoberta dos elementos transurânicos, podem passar a falsa impressão de que a ciência daquele momento histórico foi equivocada, fruto de um contexto específico e que prontamente foi modificada com a ação de cientistas bons e respeitosos do código moral da ciência, seu ethos. Ou seja, uma análise anacrônica desses episódios – isto é, centrada em valores políticos de igualdade de gênero e raça, atualmente um pouco mais consolidados que há algumas décadas – pode passar a errônea impressão de que aquelas investigações não eram efetivamente científicas. Contudo, essas pesquisas foram consolidadas como a ciência de um tempo, eram progressivas, consistentes, coerentes e tinham amparo empírico, além de passarem por alguma crítica intersubjetiva, dentro dos limites de suas épocas; eram, portanto, objetivas, tinham aspectos cognitivos esperados de qualquer teoria científica (TARCITANO FILHO et al, 2014; ALLCHIN, 1999; LONGINO, 1990). Faltava, naqueles momentos históricos, uma comunidade científica mais heterogênea e capacitada a criticar as preferências subjetivas e sociais que constituíram aquelas investigações.

A questão da objetividade do conhecimento tem tido espaço sobretudo entre pesquisadores de ensino de física, em resposta ao suposto relativismo exacerbado do construtivismo educacional, criticado por Matthews (1994) e secundado por Pietrocola (1999) e Laburú e Silva (2000). Para eles, é necessário fugir da concepção de que tudo vale na ciência, relativizando demasiadamente o conhecimento científico. Todavia, essas concepções, amparadas no realismo científico, acabam perdendo força se forem aceitas as contribuições axiológica na filosofia da ciência. Quando se trata de conhecimentos produzidos por seres humanos, é impossível exigir rigidez e objetividade positivistas, mas isso não significa qualquer perda de objetividade ou racionalidade, como bem ilustram Laudan (1984; 2004) e Longino (1990). A negociação de valores, a crítica intersubjetiva, as convenientes reinterpretções de fatos, métodos e objetivos são testemunhos de que, apesar da insuperável presença de

subjetividades, é possível sim ver a ciência como atividade racional, ponderada e objetiva. No caso do episódio histórico apresentado, adequação empírica, coerência, consistência e simplicidade tinham significados diferentes para Fermi e Noddack e fatores contextuais podem ter desempenhado um papel na escolha do restante da comunidade científica; entretanto, aquela ciência que buscava a objetividade e a negociação de valores foi erigida sobre argumentos racionais, constitutivos à ciência da época.

A própria questão do realismo científico, que tem espaço entre os acadêmicos de ensino de ciências, ganha novas nuances desde uma perspectiva de ciência e valores. McMullin (1983) defendia que aqueles valores, como adequação empírica e coerência, tinham natureza epistêmica, pois eram testemunhos de uma aproximação paulatina entre ciência e realidade. Mas a própria concepção de valores mostra que, tomados individualmente, eles são incapazes de dar conta de tamanha tarefa – pois são pertinentes apenas em relação a outros pilares da ciência – como outros valores, métodos e expectativas teóricas. Durante cinco anos, os transurânicos fizeram parte dos cânones da radioquímica e da física nuclear e tinham, como se viu, precisão e consistência externa. Os anos trouxeram anomalias, erodindo sua coerência interna e até sua exatidão, dentro de alguns parâmetros. Assim, quase cinco anos depois, o fenômeno foi reinterpretado. É impossível dizer que o fenômeno da fissão seja, de alguma forma, uma retificação, um aprimoramento da interpretação da produção de transurânicos – ele é, efetivamente, uma revisão de monta naquele conhecimento. O que foi verdade durante cinco anos deixou de ser em 1939.

### 3.5 FISSÃO, TRANSURÂNICOS E DESCOBERTAS: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quase cinco anos foram necessários para que se confirmasse a conjectura levantada por Ida Noddack: o bombardeamento de núcleos pesados com nêutrons, sobretudo os lentos, era capaz de provocar uma quebra no núcleo atômico. Stent (2007) enfatiza que esse foi o caso de descoberta prematura mais carregado de consequências de que ele tenha tido conhecimento. Não é por menos: a partir de 1939, uma fonte descomunal de energia estava à disposição da ciência, da tecnologia e da política – justamente no ano em que eclodia a Segunda Grande Guerra Mundial. A Alemanha, que saíra perdedora da Primeira Grande Guerra, via-se em situação calamitosa, causada pelos altos custos da Guerra aos quais tinha sido sujeita. Inglaterra e França, assim, viam a animosidade

que crescia no país vizinho e inimigo. O que teria sido dos rumos daquele momento histórico, tivesse a hipótese de Noddack recebido a atenção merecida? Essas questões políticas, que tiveram influência na ciência entre Guerras, não foram aprofundadas neste trabalho, mas certamente agregam uma outra perspectiva de análise que não deve ser negligenciada.

As consequências sociais dessa descoberta prematura, por mais que sejam emblemáticas historicamente, não devem apagar a riqueza de detalhes históricos deste episódio, que é capaz de ilustrar uma concepção filosófica bastante relevante – a de que valores de origens diversificadas têm influência ampla na atividade científica. A variedade de aspectos sobre a natureza da ciência que podem ser explorados com este episódio é bastante vantajosa para aqueles que buscam uma mudança na concepção de ensino de ciências – física e química, especialmente.

Outra possibilidade de aprofundamento não apreciada neste trabalho diz respeito às descobertas científicas. Esse é um assunto que teve sua relevância apontada por filósofos como Kuhn (2009b) e Hanson (1967) e que podem envolver também fatores não apenas cognitivos, mas também contextuais, em face à dimensão sociológica da ciência. Até onde se constituíram como descobertas a conjectura de Noddack ou os transurânicos dos italianos? Esse tipo de questão, além de propiciar um exercício do julgamento histórico não anacrônico, enfatizado entre aqueles que defendem uma história da ciência de qualidade no ensino, permite também a reavaliação de posturas epistemológicas relativas ao realismo científico, problematizando a relação entre a concepção de descoberta e a realidade enquanto suposto objetivo da atividade científica, à luz de perspectivas opostas como as de McMullin (1983, 1984) e Laudan (1984, 2004).

É interessante apontar que, dos valores sugeridos por Kuhn (em sua lista assumidamente não exaustiva), esse episódio histórico mostra claramente a operacionalização dos valores da adequação empírica, da coerência (coerência interna e consistência externa) e da simplicidade. Valores como o da fertilidade e do alcance não parecem ter tido parcela de reponsabilidade na decisão da comunidade em manter-se firme à interpretação dos transurânicos. McMullin (1983) enfatiza a necessidade de um certo período de tempo para que se avalie a fertilidade de um conhecimento científico. Na história da descoberta da fissão nuclear, nos cinco anos após a reivindicação dos italianos, fertilidade e alcance desempenham papel determinante – juntamente com os outros valores – na ampla aceitação da existência deste novo tipo de fenômeno.

## 3.6 REFERÊNCIAS

ALLCHIN, D. Values in Science: an Educational Perspective. **Science&Education**, v. 8, n. especial, p. 1, 1999.

ALVAREZ, L. W. **Adventures of a physicist**. Nova York: Basic Books, 1987.

ANDERSEN, H. Categorization, anomalies and the discovery of nuclear fission. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v. 27, n. 4, p. 463, 1996.

AMALDI, E.; D'AGOSTINO, O.; FERMI, E.; PONTECORVO, B.; RASETTI, F.; SEGRÉ, E. Artificial radioactivity produced by neutron bombardment II. **Proceedings of the Royal Society of London A**, v. 149, p. 522, 1935.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais+ (PCN+): Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília, 2002.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387, 2005.

FERMI, E. Possible production of elements of atomic number higher than 92. **Nature**, v. 133, p. 898, 1934.

FERMI, E. (1938). Artificial radioactivity produced by neutron bombardment. In: **Nobel Lectures, Physics 1922 – 1941**. Amsterdam: Elsevier, 1965.

FERMI, E.; AMALDI, E.; D'AGOSTINO, O.; RASETTI, F.; SEGRÉ, E. Artificial radioactivity produced by neutron bombardment. **Proceedings of the Royal Society of London A**, v. 146, p. 483, 1934.

FLÔR, C. C. História da ciência na educação química: síntese de elementos transurânicos e extensão da Tabela Periódica. In: **Atas do XIV Encontro Nacional de Ensino de Química**, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.



FLÔR, C. C. A história da síntese dos elementos transurânicos e extensão da Tabela Periódica numa perspectiva fleckiana. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, nov. 2009.

FRISCH, O. R. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. **Nature**, v. 143, p. 276, 1939.

FRISCH, O. R. The discovery of fission. **Physics Today**, p. 47, nov. 1967.

HAHN, O. From the natural transmutation of uranium to its artificial fission (1946). In: **Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962**. Amsterdam: Elsevier, 1964.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. **Die Naturwissenschaften**, v. 27, p. 11, jan. 1939a.

HANSON, N. R. An anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p. 321, jun. 1967.

HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. In: HOOK, E. B. (org.). **Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência**. São Paulo: Perspectiva, 2007.

KOLSTOE, S. D. Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. **Science & Education**, v. 17, n. 8-9, p. 977, mar. 2007.

KUHN, T. S. Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, p. 363, 2009a.

KUHN, T. S. A estrutura histórica da descoberta científica (1962). In: **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, p. 199, 2009b.

LABURÚ, C. E.; SILVA, M. R. Do relativismo no ensino de física ao objetivismo na física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 121, 2000.

LAUDAN, L. **Science and values: the aims of science and their role in scientific debate**. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1984a.

LAUDAN, L. The Epistemic, the Cognitive, and the Social. In: MACHAMER, P.; WOLTERS, G. (eds.). **Science, Values, and Objectivity**. University of Pittsburgh Press, Universitätsverlag Konstanz, 2004.

LAUDAN, L. **O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico**. São Paulo: Editora UNESP, 2011.

LONGINO, H. **Science as a social knowledge**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 473, 2006.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de física moderna. **Revista Electrónica Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 1, 2007.

MATTHEWS, M. R. **History, Philosophy, and Science Teaching**. Nova York, Londres: Routledge, 1994.

McMULLIN, E. Values in Science. In: PSA: **Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**. The University of Chicago Press, v. 2: Symposia and Invited Papers, p. 3, 1983.

McMULLIN, E. A case for scientific realism. In: LEPLIN, J. **Scientific Realism**. Berkeley, Los Angeles, Londres: University of California Press, 1984.

NODDACK, I. Über das Element 93. **Zeitschrift für Angewandte Chemie**, v. 47, p. 653, set. 1934.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. História da ciência e ensino de física: uma análise meta-histórica. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A.

F.; FERREIRA, J. M. H. **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. Natal: EDUFRN, 2012.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23, 2000.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393, 2009.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213, 1999.

PINTO, G. T.; MARQUES, D. M. Uma proposta didática na utilização da história da ciência para a primeira série do ensino médio: a radioatividade e o cotidiano. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 1, p. 27, 2010.

QUILL, L. L. The transuranium elements. **Chemical Reviews**, v. 23, p. 87, 1938.

ROUSE, J. Kuhn, Heidegger, and scientific realism. **Man and World**, v. 14, n. 3, p. 269, 1981.

SAMAGAIA, R.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma experiência com o Projeto Manhattan no ensino fundamental. **Ciência&Educação**, v. 10, n. 2, p. 259, 2004.

SEABORG, G. T. Prematuridade, fissão nuclear e os elementos actínídeos transurânicos. In: HOOK, E. B. **Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência**. São Paulo: Perspectiva, 2007.

SEGRÉ, E. The discovery of nuclear fission. **Physics today**, p. 38, jul. 1989.

SIME, R. L. Lise Meitner and the discovery of fission. **Journal of Chemical Education**, v. 66, n. 5, mai. 1989.

SORPRESO, T. P.; ALMEIDA, M. J. P. M. Discurso de licenciandos em física sobre a questão nuclear no ensino médio: foco na abordagem histórica. **Ciência&Educação**, v. 16, n. 1, p. 36, 2010.

SOUZA, A. M.; GERMANO, A. S. M. Análise de livros didáticos de física quanto a suas abordagens para o conteúdo de física nuclear. In: **Atas do XVIII Simpósio de Ensino de Física**. Vitória, 2009.

SOUZA, M. A. M.; DANTAS, J. D. Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 136, abr. 2010.

STENT, G. S. Prematuridade na descoberta científica. In: HOOK, E. B. **Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência**. São Paulo: Perspectiva, p. 49, 2007a.

STENT, G. S. Comentários. In: HOOK, E. B. **Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência**. São Paulo: Perspectiva, p. 533, 2007b.

STUEWER, R. H. The origin of the liquid drop model and the interpretation of nuclear fission. **Perspectives on Science**, v. 2, p. 76, 1994.

TARCITANO FILHO, C. M.; THOMAZ, L. C. L.; UCHÔA, R. B. S.; CRUZ, R. A.; WAISSE, S. Eugenia, ciência de uma época. In: BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. S. P. (orgs). **História da Ciência: tópicos atuais 3**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

VALENTE, L.; BARCELLOS, M. E.; SALÉM, S.; KAWAMURA, M. R. D. Física nuclear: caminhos para a sala de aula. In: **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Curitiba, 2008.

XAVIER, A. M.; LIMA, A. G.; VIGNA, C. R. M.; VERBI, F. M.; BORTOLETO, G. G.; GORAIEB, K.; COLLINS, C. H.; BUENO, M. I. M. S. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 83, 2007.

## **4 VALORES, MÉTODOS E EVIDÊNCIAS: RACIONALIDADE E OBJETIVIDADE NA DESCOBERTA DA FISSÃO NUCLEAR<sup>14</sup>**

### **Values, methods, and evidence: rationality and objectivity in the discovery of nuclear fission**

#### **Resumo**

Em filosofia, diz-se que teorias são subdeterminadas pelas evidências, isto é, que não há um conjunto de evidências capazes de determinar uma escolha teórica. Essa questão fica clara na história da descoberta da fissão nuclear. Os caminhos tortuosos trilhados por físicos e químicos nucleares mostram as complexidades inerentes ao trabalho científico e os juízos de valor necessários para se guiar a prática científica e resolver anomalias teóricas, metodológicas e mesmo axiológicas. Com o auxílio das visões de ciência de Larry Laudan e Helen Longino, especialmente profícuas para esse episódio, este trabalho busca mostrar que, apesar disso, não se caiu em um abismo ilógico ou irracional neste período. Uma abordagem educacional desse episódio, centrada nos problemas, na coletividade e na intersubjetividade, tem grande potencialidade para a educação científica.

#### **Abstract**

In philosophy, it is said that the theories are underdetermined by evidence, namely that there is no body of evidence able to determine a theory choice. This issue is made clear in the history of the discovery of nuclear fission. The tortuous paths taken by nuclear physicists and chemists show the complexities inherent to the scientific work and the value judgments necessary to guide scientific practice and to solve anomalies of theoretical, methodological and even axiological nature. Leaning on Larry Laudan and Helen Longino's science views, which are especially fruitful for this episode, this paper seeks to show that, despite this, nuclear science did not fall into an illogical or irrational abyss in that period. An educational approach to that episode, centered on the problematic nature of science, its collectivity and intersubjectivity, keeps great potential for science education.

**Palavras-chave:** fissão nuclear, racionalidade, objetividade, subdeterminação

**Keywords:** nuclear fission, rationality, objectivity, underdetermination

---

<sup>14</sup> Artigo submetido a publicação em fevereiro de 2015.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Até a descoberta da radioatividade natural, em 1896, o urânio, conhecido desde 1789, era considerado um elemento de pouca importância – era peculiar por ter o maior número atômico. A partir do século XX, o urânio passou a protagonizar as investigações atômicas e, mais tarde, com o modelo atômico de Rutherford-Bohr e a transmutação artificial dos elementos, esteve envolvido em uma questão que cativava os pesquisadores das recém-inauguradas áreas da física nuclear e da radioquímica: seria possível produzir elementos de número atômico maior que o urânio? Para responder esta questão era superar um obstáculo empírico da época: a restrita disponibilidade de projéteis, até então carregados – prótons e partículas alfa, sobretudo – que não superavam a barreira coulombiana dos grandes núcleos. Apenas na década de 1930 novas perspectivas de investigação se desnudaram. Usando o nêutron para irradiar núcleos de urânio, seria finalmente possível tentar produzir elementos transurânicos.

Curiosamente, o urânio é um elemento muito mais sofisticado do que se compreendia à época. Atualmente localizado na série dos actinídeos, sabe-se que ele possui elétrons na camada  $5f$ , apesar de ser quimicamente similar aos elementos de transição. Havia, na década de 1930, uma discussão acerca do grupo  $5f$ , dos actinídeos, após a organização, feita por Bohr, do grupo  $4f$ , os lantanídeos. Os cientistas que investigavam os núcleos, no entanto, tratavam o urânio como elemento de transição, de acordo com sua posição vigente na tabela periódica, uma casa abaixo do tungstênio ( $Z=74$ ) (SIME, 2000).

Em Roma, poucas semanas após a descoberta da radioatividade artificial, Enrico Fermi e sua equipe buscaram reproduzir esse fenômeno por meio do bombardeamento do urânio com nêutrons. Compreenderam os resultados como o decaimento beta do urânio – a emissão de elétrons produzia, segundo sua interpretação, o elemento de número atômico 93. Somente cinco anos mais tarde confirmou-se que o que fora produzido no laboratório romano não eram elementos transurânicos, mas elementos conhecidos muito mais leves que ele, em virtude da quebra dos núcleos. Como o urânio, a fissão nuclear é um fenômeno insidioso. Seus produtos decaem em longas séries com emissões de elétrons. Deste modo, elementos produzidos por fissão nuclear podem se encontrar em diversas seções da tabela periódica. Como não esperavam ter provocado a cisão do núcleo, os cientistas à época – e não apenas a equipe de Fermi, como também Otto Hahn e Lise Meitner e os Joliot-Curie, autoridades em radioquímica – ‘conseguiram discernir’ o que achavam ser três séries de

decaimento dos então supostos transurânicos, duas delas sendo bastante similares aos decaimentos dos próprios produtos da fissão nuclear que, de fato, estavam sendo produzidos.

Um conceito filosófico bastante importante desde as primeiras teses pós-positivistas é a subdeterminação. No caso de teorias subdeterminadas pelos fatos, por exemplo, o conceito quer dizer que não há garantias lógicas de que um conjunto de dados seja capaz de determinar uma teoria. Diante da subdeterminação das teorias pelos fatos, portanto, a interpretação do cientista é guiada pelas suas suposições e convicções teóricas. Relativamente ao bombardeamento de urânio com nêutrons, as teorias que guiavam os cientistas tinham naturezas distintas: a primeira, proveniente da química, dizia que o urânio e os possíveis elementos transurânicos se comportariam como seus homólogos (à época) na tabela periódica; a segunda, de natureza física, asseverava a impossibilidade de uma grande quebra dos núcleos. Assim, em face aos dados e às teorias, os elementos transurânicos fizeram parte dos cânones da ciência nuclear por cinco anos.

Sime (2000, p. 49) toma emprestado o termo “ilogicidade do progresso na ciência”, cunhado por Roger Stuewer, para caracterizar as primeiras investigações com bombardeamentos de urânio com nêutrons, “quando o desconhecido não é uma mera extrapolação do conhecido”. É interessante, no entanto, que a subdeterminação dos fatos pela teoria – ou seja, o desconhecido não ser uma mera extrapolação do conhecido – seja efetivamente uma característica da ciência, defendida por diversos filósofos como Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Larry Laudan e Helen Longino. Diferentemente do que compreende Sime (2000), no entanto, esse aspecto básico da atividade científica não é necessariamente sinal de falta de lógica ou, em outras palavras, de irracionalidade.

Este trabalho busca apresentar historicamente as investigações sobre os supostos transurânicos, levadas a cabo por Lise Meitner e Otto Hahn (e mais tarde por Fritz Strassmann), que os levaram à descoberta da fissão. Além disso, com o auxílio das teses filosóficas de Laudan (1984) e Longino (1990), almeja-se mostrar que os caminhos tortuosos trilhados pela comunidade científica e, sobretudo, por esses dois cientistas, não são simbólicos da ilogicidade; pelo contrário, o permanente ajuste entre fatos, métodos e objetivos e valores, feitos por eles, são característica justamente da racionalidade da ciência.

Em termos de potencial educacional, este episódio da história da física moderna traz consigo uma rica variedade de aspectos da natureza da ciência, que têm tido grande espaço na literatura especializada em educação científica. Além disso, todas as reflexões deste artigo estão

fundamentadas em uma linha mais atual da filosofia da ciência, protagonizada por valores e o papel desempenhado por eles na atividade científica. Esse pano de fundo filosófico não é apenas profícuo nas possibilidades de reinterpretação de conceitos como objetividade e racionalidade, mas também para um ensino de ciências que tenha o intuito de discutir a ciência tanto do ponto de vista conceitual como epistemológico.

#### 4.2 RACIONALIDADE, OBJETIVIDADE E VALORES: AS CONCEPÇÕES DE LAUDAN E LONGINO

Desde o fim da hegemonia do positivismo lógico, teses dissonantes acerca da ciência e de seu progresso foram propostas por vários filósofos. Apesar das enormes diferenças, todos tinham certas compreensões em comum: o objetivo geral da ciência é a construção do conhecimento teórico; teorias são subdeterminadas pelas evidências; as observações ocorrem relativamente a um corpo teórico, e as escolhas na ciência são pautadas por juízos e negociações de valores. Essas concepções formaram uma base sólida para a construção de diversas teses, sempre em oposição às ideias positivistas (McMULLIN, 1983).

Entre os filósofos que se aprofundaram na análise da relação entre juízos teóricos e de valor, a tendência de diversificação filosófica foi também bastante intensa. Kuhn (2009), por exemplo, afirmava que os juízos de valor, especialmente em relação a certos valores esperados nas teorias científicas, eram feitos pelos cientistas, em suas escolhas teóricas, o que não acarretava necessariamente em irracionalidade. McMullin (1983), por sua vez, compreendia que a presença de certos valores nas teorias científicas era testemunho de que a ciência se aproxima da verdade – em outras palavras, ele interpretava a relação entre ciência e valores a partir de uma perspectiva realista crítica. Sendo um antirrealista, Laudan (1984) defendia justamente o contrário – não existem argumentos lógicos que garantam o caráter realista do conhecimento científico – o que não significa que a ciência seja irracional. Longino (1990), focando na coletividade e na intersubjetividade da ciência propõe, igualmente, que os juízos de valor não afetam a objetividade da ciência, desde que se salvguarde a ampla circulação do conhecimento e os espaços de crítica intersubjetiva.

Dois aspectos essenciais das teses de Laudan (1984) e Longino (1990) serão protagonistas neste trabalho: os conceitos de racionalidade e objetividade. No relato positivista da ciência, racionalidade seria a capacidade dos cientistas de seguirem certos procedimentos na



investigação científica, além de se apoiarem em determinadas regras em momentos de escolhas teóricas. Objetividade, por sua vez, era uma característica do conhecimento e do método: o melhor conhecimento (e, para realistas, o mais verdadeiro) era aquele produzido pelo método racional (LONGINO, 1990). Eram duas concepções rígidas e intrinsecamente ligadas. O que estes dois filósofos propõem é uma revisão destes conceitos, perdendo a rigidez inalcançável do positivismo, mas mantendo sua íntima correlação.

Para Laudan (1984), a subdeterminação tem efeitos profundos e em diversos níveis da atividade científica, não apenas em evidências e teorias. Para ele, a escolha dos fatos é subdeterminada pelas regras metodológicas, que, por sua vez, são subdeterminadas pelos valores e objetivos da ciência. Em virtude dessa característica inescapável, os cientistas veem-se reiteradamente na posição de buscar os melhores ajustes entre fatos, métodos e valores – compartilhados ou subjetivos – no esforço constante para alcançar a teoria melhor suportada por evidências e métodos. Essa interrelação é o que Laudan (1984) batizou de sistema triádico de justificação – para ele, simbólico da racionalidade na ciência.

Em linhas gerais, Longino (1990) posiciona-se semelhantemente em relação à racionalidade. Como teorias são subdeterminadas pelas evidências, é impossível esperar que a garantia da racionalidade seja em referência a um conjunto de evidências empíricas. São as ponderações, feitas coletivamente, sobre relevância da evidência em relação às interpretações teóricas que podem ser um padrão de racionalidade – e para isso, é necessária a manutenção de espaços e circulação da crítica intersubjetiva. Nessa busca por uma prática científica aberta à crítica, potencializa-se a objetividade da ciência.

A relação entre ciência e valores é determinante para Longino (1990). Os valores cognitivos da ciência, aqueles que tradicionalmente são buscados pelos cientistas, como precisão, coerência, consistência, alcance, fertilidade, plausibilidade, em geral não são os únicos a fazer parte da escolha teórica ou de outras etapas da prática. Muitas vezes, valores tipicamente contextuais entram na prática científica. Cabe à comunidade, nos processos intersubjetivos de crítica, detectar e excluir as preferências subjetivas nocivas à ciência (aos objetivos da ciência naquele momento sócio-histórico), e manter aqueles valores que, apesar de não serem tradicionalmente considerados cognitivos, desempenham papel constitutivo na ciência.

### 4.3 HAHN E MEITNER: INTERDISCIPLINARIDADE E MODELO RETICULADO DE JUSTIFICAÇÃO

Em uma série de artigos publicados entre 1934 e 1935, o grupo italiano liderado por Enrico Fermi descrevia como conseguiu expandir as fronteiras da tabela periódica unindo duas das mais importantes descobertas da física nuclear até então: o nêutron e a radioatividade induzida. A exemplo dos Joliot-Curie, que investigaram núcleos com o bombardeamento de partículas alfa, produzindo elementos artificialmente radioativos, os italianos buscaram provocar as emissões radioativas com o auxílio de nêutrons. Como o nêutron não sofre repulsão com a barreira coulombiana, puderam bombardear quase todos os elementos do sistema periódico, inclusive o urânio. Como esses experimentos produziam isótopos artificiais que decaíam com emissões beta, esperava-se que, finalmente, pudessem ser produzidos artificialmente os elusivos elementos transurânicos a partir do bombardeamento do urânio.

Os artigos da equipe romana ganharam rápida notoriedade. Com a ascendência do nazismo ao poder na Alemanha, além de outros acontecimentos globais, os países europeus tornavam-se cada vez mais latentemente bélicos. Nesse contexto, certas conquistas científicas tinham significado político especial. A entrada do já renomado Fermi na física nuclear e a conseqüente ‘descoberta’ dos transurânicos foi um marco de uma corrida científica que se iniciava também impulsionada pelo clima do pré-Guerra (SIME, 2000), apesar das relações amistosas e pacíficas entre os cientistas de diversos países que já ensaiavam suas posturas inimigas.

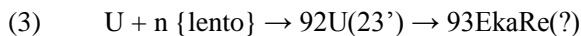
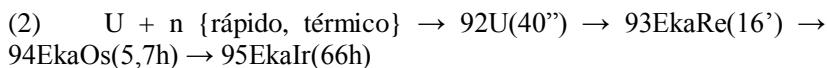
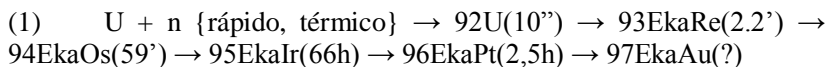
Tão ou mais preponderante que as questões políticas eram as expectativas teóricas dos cientistas que buscavam compreender a limitação superior da tabela periódica. Nos anos 1920, clamou-se duas vezes a descoberta de tais elementos, que foram quase imediatamente refutadas (QUILL, 1938). Com a associação dos nêutrons e da radioatividade induzida, no entanto, sua produção era bastante plausível e, de fato, esperada. O recebimento da notícia da produção de transurânicos pelo grupo italiano, enfim, envolveu ampla aceitação pela comunidade – exceto por duas objeções: a do químico Aristid von Grosse, que supunha que aqueles produtos da irradiação do urânio se assemelhavam ao protactínio, e a da química analítica Ida Noddack, que questionava diversos pontos dos trabalhos dos italianos.

Em 1935, o foco das investigações deixa de ser em Roma, e passa a ser em Berlim, em virtude da colaboração de dois dos maiores especialistas em radioquímica, Hahn e Meitner, que voltava a ocorrer.

Parceiros de trabalho desde 1909, quando Lise se mudou de Viena para Berlim, ambos vinham executando suas pesquisas em áreas diferentes há doze anos, embora não tenham deixado de ser grandes amigos naquele ínterim. A possibilidade do protactínio fez com que voltassem a trabalhar juntos – e assim continuaram até 1939, com a efetiva descoberta da fissão nuclear, apesar da distância que lhes veio se interpor.

Como o próprio Hahn (1946) ressalta, eles tinham os meios de investigar a possibilidade de produção do protactínio, caso ele fosse efetivamente um produto do bombardeamento de urânio com nêutrons, além do notável conhecimento sobre o elemento. Mesmo concluindo que a identidade conjecturada por von Grosse não procedia – excluindo, além do protactínio, o urânio, o actínio e o tório –, sentiram-se impelidos a continuar: do ponto de vista radioquímico, os produtos daquela reação eram singularmente envolventes.

Entre 1935 e 1937, Meitner e Hahn dedicaram-se à compreensão das séries de decaimento do urânio e dos comportamentos químicos dos produtos das séries. Como afirma Sime (2000), conseguiram discernir três decaimentos beta do urânio-238 pela captura de um nêutron:



Meitner e Hahn consideraram que o urânio ocupava a posição imediatamente abaixo do tungstênio na tabela periódica, ou seja, consideraram-no um elemento de transição, apesar da discussão que ocorria na época sobre a existência de uma série de actinídeos. Com sucessivos decaimentos beta, portanto, seus produtos se posicionariam imediatamente abaixo do rênio, do ósmio, do irídio, da platina, do ouro etc. Essa extrapolação os levou a utilizar o prefixo sânscrito eka (“um”) proposto por Mendeleev para os elementos faltantes na tabela, em relação aos vizinhos conhecidos.

Era aparentemente um grande avanço na consolidação daquele conhecimento: as séries de decaimento foram distinguidas e, paulatinamente, conhecia-se o comportamento químico dos supostos elementos transurânicos. Contudo, a construção desse modelo, que tinha como bases fundamentais os fatos de que o isótopo de urânio produzido

decaía em longas séries de emissões beta e de que esses produtos se assemelhavam, quimicamente, aos seus homólogos superiores (rênio, ósmio, irídio e platina) começava a mostrar suas anomalias.

O	I																II																	
H																	He																	
1																	2																	
O	I	II		III	IV	V	VI	VII	VIII																									
He	Li	Be		B	C	N	O	F	Ne																									
2	3	4		5	6	7	8	9	10																									
Ne	Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar																									
10	11	12		13	14	15	16	17	18																									
O	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa		Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb																	
Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																
Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ta	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	X																
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																
X	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	Em																
54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Em		Ra	Ac	Th	Pa	U																												
86	87	88	89	90	91	92																												
O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																
Ce	Pr	Nd			Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Cp	Seltene		Erdmetalle																	
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																					

Fig. 4.1: Tabela periódica das décadas de 1920 e começo de 1930. Nota-se que tório, protactínio e urânio eram classificados como metais de transição, e não como actínídeos, classificação atualmente aceita (SIME, 2000).

Era aparentemente um grande avanço na consolidação daquele conhecimento: as séries de decaimento foram distinguidas e, paulatinamente, conhecia-se o comportamento químico dos supostos elementos transurânicos. Contudo, a construção desse modelo, que tinha como bases fundamentais os fatos de que o isótopo de urânio produzido decaía em longas séries de emissões beta e de que esses produtos se assemelhavam, quimicamente, aos seus homólogos superiores (rênio, ósmio, irídio e platina) começava a mostrar suas anomalias.

Em termos de valores, portanto, a construção dos esquemas de decaimento do urânio irradiado com nêutrons era adequada empiricamente. Havia, por um lado, a sólida corroboração empírica de que aqueles elementos eram emissores beta; por outro, esses produtos se comportavam similarmente aos demais elementos conhecidos. Mais um aspecto relevante desse conhecimento era o fato de ser consistente com o

que se esperava da época: os novos transurânicos se comportavam como seus homólogos superiores da tabela, como previa a química tradicional. Os aspectos do conhecimento científico que se convencionou chamar de valores (cognitivos ou constitutivos, neste caso), como adequação empírica e consistência, por exemplo, são assim compreendidos por não serem perfeitamente objetivos, em virtude de serem produtos de juízos dos cientistas. Mais do que parcialmente subjetivos, eles também não têm significado absoluto. Conhecimentos são valorados ou avaliados sempre em referência a algum corpo teórico.

No caso das séries de decaimento dos supostos transurânicos, portanto, a consistência exibida pelos modelos elaborados era relativa a uma expectativa química até então não contrariada sobre o comportamento dos elementos como previsto pelo sistema periódico. É interessante, então, que por outro lado tenha sido justamente em termos de consistência que se mostraram as anomalias da interpretação: o isomerismo nuclear (possivelmente) triplo e propagado naquelas séries de decaimento.

Isomerismo (ou isomeria) era um fenômeno bastante recente naquela época e, portanto, pouco conhecido e compreendido. Significa que um mesmo isótopo, criado da mesma forma (bombardeamento com nêutrons), apresenta tempos de meia-vida diferentes. No caso das séries do urânio, esse isomerismo era ainda mais anômalo pois era propagado pelas séries, ou seja, gerava isótopos idênticos de eka-rênio, eka-ósmio, eka-irídio, etc, mas de meias-vidas diferentes.

Essa não era a única fonte de inconsistências externas dos modelos de decaimento discernidos pelo grupo. O urânio, até então, não se mostrava como um grande emissor beta e seus vizinhos na tabela também não decaíam com a emissão de elétron mais do que duas vezes sucessivas. Repentinamente, a absorção de um nêutron mudava todo esse panorama e provocava não apenas uma, mas possivelmente três longas séries de emissão de elétrons (FRISCH, 1967).

Assim, até 1937 o que se tinha era a consolidação dos elementos transurânicos de número atômico até 96 e o estudo de suas propriedades. Eles eram, afinal, empiricamente adequados ao que se esperava deles, relativamente ao pretensão posicionamento do urânio na tabela periódica. Além disso, a experiência histórica da física, aliada ao modelo nuclear da gota líquida de Gamow, garantia até o momento que os núcleos eram estruturas tão rígidas e coesas que o máximo que se poderia deles arrancar eram partículas alfa (ALVAREZ, 1987). De fato, esses dois aspectos falavam muito mais alto do que as outras inconsistências que começavam

a se acumular, como a insólita isomeria múltipla e propagada na série, além do enigmático decaimento beta do urânio irradiado.

As incertezas oriundas dessas anomalias provocaram questionamentos de Meitner em relação aos processos químicos utilizados. Neste ponto, as diferenças disciplinares da equipe, proffcuas há muitos anos, demonstraram-se um empecilho. Ela, encarregada das interpretações físicas dos resultados das investigações, precisava confiar nas escolhas incumbidas a Hahn e Strassmann, que definiam os melhores métodos de precipitação dos elementos transurânicos e executá-los. Meitner relata ter pedido reiteradamente para que as partes filtradas fossem investigadas, do mesmo modo que eram as partes precipitadas. O posicionamento de Hahn, aliado ao convencimento da comunidade de que se tratavam efetivamente de transurânicos certamente reduziram a inquietação da física austríaca (SIME, 2000).

Desde uma perspectiva atual, pode-se observar que, dentre as alternativas de questão de investigação do grupo de Berlim, eles seguiram duas que dificultaram grandemente seus caminhos. A primeira, em relação à investigação das duas séries de decaimento já apresentadas pelo grupo de Fermi, na sequência de artigos publicados entre 1934 e 1935. Caso tivessem focado na terceira série de decaimento (3) – que, de fato, gerava transurânicos – possivelmente identificariam as propriedades do elemento 93 e notariam sua diferença em relação à química de seus supostos isótopos produzidos pelas duas primeiras séries (1) e (2) (SIME, 2000). Além disso, ao assumir, sem maiores investigações, que na parte filtrada das separações haveria apenas elementos pesados irradiados, como o urânio, o tório e o protoactínio, eles perderam a oportunidade de constatar lá elementos de baixo número atômico (SPARBERG, 1964). Ambas as linhas de investigação preteridas os levariam, potencialmente, à hipótese da fissão nuclear. Essa, contudo, é uma constatação bastante anacrônica, que não considera umas das características mais importantes da atividade científica, que é um testemunho – ironicamente, neste caso – de sua racionalidade: a de que ela é balizada por referenciais teóricos ou empíricos amplamente aceitos pela comunidade.

Politicamente, a equipe de Berlim encontrava-se em uma situação complicada na Alemanha de 1937. Strassmann, contrário ao regime nazista, sofria perseguições políticas, que o levaram a buscar trabalho como assistente, em 1933, justamente com Meitner, austríaca de origem judaica, e Hahn, um pacifista. Contudo, a parceria dos três logo teve de ser reorganizada, pois em 1938, em virtude da perseguição nazista, Meitner fugiu para a Suécia subitamente.

Na França neste mesmo período, Irène Joliot-Curie buscava, com a irradiação do tório e do urânio com nêutrons, provocar uma série de decaimento até então desconhecida. Em colaboração com o iugoslavo Pavel Savitch, observou que um dos produtos dessa irradiação, com meia-vida de 3,5h, aparentava ser o tório. Hahn, revisando esses resultados, concluiu que essa identidade não se sustentava. Insistindo na investigação, Joliot-Curie e Savitch chegaram à conclusão que, de fato, aquele produto não se comportava como o tório, mas como o lantânio (FRISCH, 1967). Naturalmente, aquilo impressionava, pois o lantânio, de  $Z=57$ , era um elemento de médio número atômico e o resultado foi encarado como uma anomalia. Suas convicções teóricas os impediram de defender aquela identidade, prevenindo uma possível descoberta da fissão (SPARBERG, 1964). Eles supuseram que aquele fosse um elemento transurânico cujo comportamento ainda precisava ser mais profundamente investigado (HAHN, 1946).

Aquele produto de 3,5h inquietava a todos, inclusive Meitner que já trabalhava na Suécia, mas que continuava fazendo parte da equipe através de frequentes correspondências com Hahn (SIME, 1989). É neste momento histórico que um ajuste mais dinâmico e interativo entre evidências, métodos e valores começava a se mostrar necessário, dadas as crescentes complicações que a interpretação dos transurânicos provocava. Após diversos experimentos de separação, os dois químicos notaram que aquela meia-vida de 3,5h precipitava-se com preparados de bário. Pelo fato de o bário e o rádio serem homólogos, ou seja, ocuparem a coluna dos alcalinos-terrosos no sistema periódico, a conclusão de que “isótopos de rádio tinham sido produzidos era a única possível, pois, de acordo com as propriedades químicas, apenas o rádio e o bário poderiam ser considerados. O bário era, segundo o ponto de vista físico da época, impossível e, portanto, sobrava apenas o rádio” (HAHN, 1946, p. 57). Ainda, os químicos alemães estavam certos de sua conclusão – Hahn (1946) relata como foram cuidadosos na escolha do melhor composto de bário, garantindo ser ele o agente da precipitação.

O que Hahn e Strassmann concluíram sobre a meia-vida de 3,5h era intrigante. A produção de rádio a partir daqueles bombardeamentos exigia um duplo decaimento alfa, o que já era atípico para o urânio, seguido de uma longa série de decaimentos beta  $Ra \rightarrow Ac \rightarrow Th \rightarrow \dots$ . Em carta, Hahn pediu a Meitner que tentasse compreender como isso poderia acontecer, sobretudo com o uso de nêutrons lentos (SIME, 1989), outra anomalia inaudita. Com o auxílio dos cálculos propiciados pelo modelo nuclear da gota líquida de Gamow, Meitner concluiu que “nêutrons lentos não poderiam causar sequer uma emissão alfa no urânio

– quanto mais duas” (SIME, 2000, p. 59) necessárias para originar rádio a partir do urânio.

Diferentemente das investigações do ano anterior, em que eles buscavam caracterizar elementos supostamente transurânicos de natureza pouco conhecida e compreendida, desta vez eles trabalhavam em território familiar. Rádio, urânio e tório tinham sido objetos de trabalho, sobretudo de Meitner e Hahn, por quase três décadas (SIME, 2000). Neste sentido, as sólidas evidências os tinham convencidos: certamente aquele produto precipitava com o bário. Com base nessa certeza, o grupo teve de escolher que tipo de consistência esperavam daquele conhecimento: buscavam a consistência com o fato de que não se poderia produzir elementos de número atômico mediano a partir da irradiação de elementos de número atômico alto ou almejavam a consistência com seus conhecimentos bem fundamentados a respeito do comportamento do urânio? Efetivamente, mostrava-se cada vez mais impossível esperar a produção de rádio naquelas condições; o modelo nuclear da gota líquida que restringia as possibilidades de identidade daquela meia-vida de 3,5h era o mesmo que dizia que a única possibilidade disponível – o rádio – não poderia ser produzido com aquele método.

Este é o momento da história que mostra que frente a determinados problemas, ante evidências e métodos sólidos, os próprios objetivos e expectativas dos cientistas devem ser ajustados. Neste momento crucial da pesquisa, Meitner, Hahn e Strassmann começaram a aceitar a produção do bário como alternativa viável. Em um encontro entre a física e o químico em novembro de 1938 em Copenhague, ela pediu que ele revisasse a interpretação da produção do rádio. Sime (1989) defende que essa explícita angústia de Meitner influenciou Hahn a atacar o problema de outras vertentes ao voltar a Berlim. A ela, restava apenas continuar as investigações por meio de cartas, interpretando os resultados enviados pelos colegas, em virtude da falta de estrutura de trabalho em Estocolmo.

Hahn e Strassmann passaram a executar cristalizações fracionadas; notando que aquele suposto isótopo de rádio só precipitava com compostos de bário, tentaram separar o rádio do bário. Mesmo em face a tantas complicações experimentais, começaram a notar a dificuldade inerente de levar a cabo tal separação; começavam a se abrir a novas possibilidades (HAHN, 1946).

Neste momento, o rádio começou a deixar de ser uma suposição sólida, apesar de ser a única sustentada pelos cânones da física nuclear e de parte da própria química, passando a se tornar uma grande incógnita, mesmo sendo suportado por evidências não conclusivas. Vários fatores



podem ter influenciado essa mudança de valores por Hahn e Strassmann, mas certamente o fato de estarem muito familiarizados com rádio e bário, e a angústia de Meitner em relação a tantas incoerências físicas foram os mais determinantes. Passaram a buscar, então, outras explicações, como a de precipitar aqueles produtos com compostos de rádio, o que indica que começavam a relutar sobre aquela identidade – pois buscavam o pensamento divergente.

Realizaram precipitações com diversos compostos de rádio e notaram que conseguiam separar, sem qualquer problema experimental, o rádio do produto desconhecido. Essa era uma evidência de que a mudança de objetivo era frutífera, mas, embora sólida, não era determinante, pois ainda desafiava um conhecimento estabelecido e amplamente aceito. Em dezembro daquele ano, Hahn enviou uma carta a Meitner em que reiterou que seu isótopo de rádio se comportava como o bário e pediu uma posição da física – da qual reafirmou sentir muita falta nas investigações. Recebeu, na véspera do Natal, uma emblemática carta em que a física anunciava, ante as novas evidências, que não achava que uma grande quebra do núcleo fosse impossível (SIME, 1989).

Os dias que se seguiram foram da finalização do artigo que posteriormente reconhecera Hahn como o descobridor do fenômeno da fissão nuclear, embora tenha sido redigido também por Strassmann. Neste trabalho, ele busca mostrar como chegou às fortes evidências de que, com o bombardeamento de urânio com nêutrons, pode-se produzir bário. O título – Sobre a existência de metais alcalino-terrosos resultantes da irradiação de urânio – assim como os primeiros parágrafos do artigo, não sugere, contudo, a intenção dos berlinenses. Como seria esperado de um artigo que propõe algo completamente inusitado, eles primeiramente descrevem minuciosa e didaticamente o problema simbolizado pelo elemento de  $3,5h$ : que o rádio, única possibilidade para ciência da época, era um produto bastante excêntrico, pois exigia que o urânio tivesse sofrido dois decaimentos alfa em sequência a partir do recebimento de um nêutron lento. A mesma ciência, no entanto, não conseguia justificar esse acontecimento energeticamente. Por este motivo, eles explicam que fizeram um meticuloso trabalho, em três etapas de identificação dos seus precipitados, e não poupam os detalhes dos métodos usados e os resultados alcançados, com análises gráficas (HAHN; STRASSMANN, 1939a).

De fato, eles não poderiam tentar introduzir a ideia principal do artigo – a de que o alcalino-terroso produzido pela irradiação de urânio não era o rádio, mas o bário – sem uma detalhista narrativa de suas práticas científicas, em que evidências, teorias, métodos e valores foram

repetitivamente ajustados para a melhor compreensão daquele fenômeno. Apresentavam, em primeira mão, um resultado espantoso e precisavam embasar fortemente suas conclusões, e assim o fizeram. Isso, logicamente, não os isentou de serem cautelosos, como revelam alguns dos trechos finais do trabalho:

Como químicos, nós realmente devemos revisar o esquema de decaimento dado acima e inserir os símbolos Ba, La, Ce no lugar de Ra, Ac, Th. Entretanto, como químicos nucleares trabalhando muito proximamente ao campo da física, ainda não conseguimos nos convencer a tomar tal drástico passo, que vai de encontro a toda a experiência prévia da física nuclear. Talvez tenha havido uma série de coincidências incomuns que nos tenha dado falsas indicações (HAHN, STRASSMANN, 1939a).

Eles continuaram os trabalhos de precipitação, ou seja, confirmando esse resultado até depois da publicação da interpretação do fenômeno, por Lise Meitner e seu sobrinho Otto Frisch, no começo de fevereiro de 1939. Essa interpretação foi fruto do encontro natalino entre os dois físicos, ocorrido em Gotemburgo, na Suécia. Segundo Frisch (1967), Lise estava intrigada com uma carta de Hahn. “Eu estava cético em relação ao conteúdo – que o bário se formava a partir do urânio irradiado com nêutrons – mas ela se prendeu àquilo” (FRISCH, 1967, p. 47).

Cabe abrir parênteses para a evolução do modelo nuclear da gota líquida, paralelamente aos estudos dos ‘transurânicos’, que teve importância determinante para a interpretação conjunta de Meitner e Frisch acerca dos eventos de produção de bário pelo urânio irradiado. Até 1928, o núcleo do modelo saturniano de Rutherford não dava conta de explicar os mecanismos causais da emissão alfa. A mecânica quântica, ainda uma novidade entre os físicos, foi então usada pelo russo George Gamow para elucidar tais mecanismos. Sua interpretação do decaimento alfa como um efeito de tunelamento quântico acabou por tornar obsoleta a visão de núcleo que fazia parte do modelo saturniano de Rutherford (STUEWER, 1997).

Gamow saiu da Alemanha, onde pesquisava, e foi trabalhar com Bohr, em Copenhague, onde, na continuação de sua aplicação da mecânica quântica para fenômenos nucleares, desenvolveu um modelo para o núcleo. Ainda em 1928, ele concebeu o núcleo como uma gota

líquida, composta por partículas alfa. Ele continuou aperfeiçoando seu modelo em Cambridge, onde foi estudar com Rutherford entre 1928 e 1929. Lá, Rutherford apresentou o modelo de Gamow em primeira mão à Royal Society. Mais à frente, Werner Heisenberg e Carl von Weizsäcker também investigaram fenômenos nucleares a partir do modelo nuclear da gota líquida (STUEWER, 1997). Ainda nesse ínterim, a própria composição do núcleo mudou; com a descoberta do nêutron, houve um declínio da expectativa da existência de um elétron nuclear, que até então explicava a emissão beta. Depois dessa descoberta, com a proposição das forças nucleares de troca de Heisenberg-Majorana, a própria abordagem do núcleo de gota líquida também exigia mudanças (STUEWER, 1983).

Esse é o primeiro estágio histórico do modelo (STUEWER, 1997). Os três físicos que a ele mais se dedicaram – Gamow, Heisenberg e von Weizsäcker – o desenvolveram dentro de um paradigma estático de núcleo. Mas, simultaneamente ao desenvolvimento da mecânica quântica, a física nuclear, sobretudo desde 1934, vinha se ocupando de estados de excitação dos núcleos. É nesta perspectiva que Bohr, em 1936 e 1937, publicou uma série de trabalhos aplicando uma concepção nuclear de gota líquida para fenômenos dinâmicos de núcleos, um modelo oscilatório. Enquanto para o núcleo de Gamow, partículas alfa eram emitidas em pequenas quantidades em virtude do fenômeno de tunelamento, para Bohr, elas poderiam ser expelidas naturalmente, dependendo da energia do núcleo, como se a gota líquida estivesse evaporando. Ele tentava explicar certos fenômenos, como longas cadeias de emissões beta por elementos pesados, que o modelo de Gamow não elucidava. Em seus artigos, no entanto, ele não apresentou uma recapitulação dos estudos prévios sobre o tema, omitindo os físicos que já vinham se dedicando ao modelo. Para Stuewer (1997), esse foi o motivo principal da ampla negligência posterior à prioridade de Gamow a este relevante construto teórico da física nuclear. De todo modo, entre 1934 e 1938, a apropriação das diferentes abordagens do núcleo de gota líquida foi distinta entre os grupos de pesquisa. Em Berlim, o modelo nuclear vigente era o de Gamow; em Copenhague, onde Frisch trabalhava, a referência era o núcleo de Bohr. Por maiores que fossem as diferenças, nenhum dos dois modelos previa explicitamente a quebra do núcleo (ANDERSEN, 1996; STUEWER, 1997).

O encontro natalino entre Meitner e Frisch foi, portanto, fortuito no que diz respeito às distintas referências teóricas trazidas por eles. Aceitando as evidências propiciadas por Hahn e confiando nos métodos executados por ele e Strassmann, Meitner e Frisch empreendem uma mudança de objetivos: sendo empiricamente adequados os resultados

vindos de Berlim, buscaram a consistência da produção de bário pelo urânio com outras teorias. Interessantemente, não foi necessário buscar um novo referencial, pois, dentro de uma nova percepção, o próprio modelo nuclear de gota líquida poderia amparar aqueles resultados. Na analogia com a gota líquida, Meitner e Frisch notaram que uma gota pode sofrer alongamento e se dividir, diminuindo sua tensão superficial. “[O] processo ocorreria sob bases puramente clássicas, sem a necessidade de se invocar o tunelamento, o que logicamente nunca funcionaria” (FRISCH, 1967, p. 47).

Frisch (1967) deixa claro, portanto, que o modelo nuclear utilizado foi o de Bohr – os parâmetros clássicos de sua interpretação descartam, de certo modo, o modelo de Gamow. Por que, então, o próprio Bohr não conseguiu notar anteriormente que seu modelo tinha a capacidade de explicar as anomalias entre os produtos de irradiação de urânio? Por que ele exclamou, ao saber das notícias da fissão em primeira mão por Frisch no ano novo “Que tolos que fomos! Deveríamos ter visto isso antes.” (FRISCH, 1967, p. 47)?

A resposta pode ser dada em termos de valores: para Bohr, que ao contrário de Meitner não estava imerso nas anomalias da pesquisa, seu modelo buscava desenvolver unicamente uma explicação para os estados de excitação do núcleo e as excêntricas longas cadeias de decaimento beta do urânio irradiado, que, apesar de incógnitas teóricas, estavam muito bem amparadas empiricamente (STUEWER, 1997). Para Meitner, além dessa explicação, era necessário também esclarecer a inusitada, mas também empiricamente adequada, produção do bário. O que era consistente para Bohr não o era suficientemente para Meitner.

Depois do natal, Frisch voltou para a Dinamarca e Meitner continuou na Suécia. Bohr, que soube em primeira mão da cisão nuclear e estava embarcando para os Estados Unidos, levou também a notícia (STUEWER, 1985). O artigo de Hahn e Strassmann foi publicado no mês de janeiro de 1939, enquanto Meitner e Frisch terminaram de redigir o seu, por telefone. Publicaram em fevereiro, na revista *Nature*; Frisch tomou emprestado da biologia o termo fissão e batizaram o fenômeno de “fissão nuclear” (MEITNER; FRISCH, 1939; FRISCH, 1967). Nele, o encadeamento de anomalias se revela claramente e a construção da narrativa tem apenas um objetivo incisivo: explicar, sucinta e coerentemente, aquele fenômeno. Distintamente do artigo de Hahn e Strassmann, não há resquícios de cautela ou trechos apologéticos. Meitner e Frisch são categóricos em apresentar a fissão nuclear e a resolver as anomalias dos múltiplos isomerismos.

Com base, entretanto, nas ideias atuais sobre o comportamento de núcleos pesados, um retrato completamente diferente e essencialmente clássico desse novo processo de desintegração se sugere. Em virtude de seu intenso confinamento e fortes trocas de energia, espera-se que as partículas de um núcleo pesado se movam de um modo coletivo, semelhante ao movimento de uma gota líquida. Se for provocado um movimento suficientemente violento com a adição de energia, tal gota pode dividir-se em duas gotas menores. [...] Após a divisão, a alta razão entre nêutron/próton do urânio tenderá a se reajustar por meio de decaimentos beta para o valor menor típico de elementos mais leves. (MEITNER, FRISCH, 1939, p. 239-240).

Naquele mês de janeiro de 1939, Hahn e Strassmann, enquanto não recebiam a carta de Meitner antecipando as conclusões a que chegara com Frisch, continuaram desenvolvendo experimentos para garantir a identidade do bário. Também se puseram a buscar o tecnécio, que eles apontaram possível em seu primeiro artigo, mas sem sucesso. Somente após conhecer a proposta da fissão em primeira mão é que decidiram mudar os rumos de suas investigações para a identificação do criptônio (SIME, 1989), sugerido por Meitner e Frisch (1939), que Hahn (1946) alega ter sido evidência química crucial para a fissão nuclear. Seu artigo foi publicado novamente na *Die Naturwissenschaften* (HAHN; STRASSMANN, 1939b) quase simultaneamente ao de Meitner e Frisch, na *Nature*. Frisch (1967) alega que a evidência empírica crucial para a física – a detecção dos grandes pulsos causados pelos fragmentos da fissão com a câmara de ionização – foi conseguida por ele, na mesma semana em que terminava de redigir o artigo com sua tia, e foi publicado uma semana depois, também na *Nature* (FRISCH, 1939).

Definir a descoberta da fissão em termos de suas supostas evidências cruciais pode ser significativo para Frisch (1967) ou Hahn (1946), mas não filosófica ou historicamente. A concepção de subdeterminação das teorias pelas evidências por si só se opõe à ideia de que um conjunto de evidências pode ser crucial para a escolha de uma teoria. Se os experimentos de detecção do criptônio foram importantes para químicos, assim como a detecção dos pulsos energéticos causados pelos fragmentos da fissão foram relevantes para os físicos, isso significa que a comunidade já se via inclinada a aceitá-los como consistentes e precisos ante um novo, coerente e fecundo quadro teórico. Não foram

necessários muitos dias para que novos experimentos corroborativos fossem feitos também na França, por Joliot-Curie, e também nos Estados Unidos (FRISCH, 1967; WHEELER, 1967). Em um ano, mais de cem trabalhos foram publicados, no mundo inteiro, sobre o assunto.

Considerando apenas as datas dos artigos, a conclusão de que foram Hahn e Strassmann os descobridores da fissão nuclear seria a mais lógica. Com o apoio das cartas trocadas entre Hahn e Meitner, no entanto, essa discussão, que já vem sendo feita entre historiadores e biógrafos (SIME, 1989; SIME, 2000; HOOK, 2007) toma novas dimensões. Tão importante quanto isso, as cartas revelam também nuances axiológicas da prática que somente os artigos não mostram na sua totalidade. Assim, mais do que a discussão bastante corrente sobre a importância da física austríaca no descobrimento do fenômeno, as cartas desvelam o aspecto que, para Laudan (1984), é emblemático da racionalidade da atividade científica: a relação reticulada entre teorias, métodos e valores na busca pelo conhecimento melhor suportado por evidências e métodos.

Com uma visão detalhada do episódio da fissão nuclear, é possível compreender a rede triádica de justificação. De fato, o que guiou Meitner, Hahn e Strassmann à sua nova compreensão foi um nivelamento das dimensões teórica, metodológica e axiológica. Para Laudan (1984), as teorias justificam os métodos, como a busca por separar o rádio dos produtos de bombardeamento de urânio com nêutrons, feita exaustivamente por Hahn, simplesmente porque a teoria não permitia a produção de outro alcalino-terroso além dele naquela reação. Mas igualmente importante, o filósofo lembra que métodos compelem novas teorias, ou seja, conseguindo apenas isolar o bário, e não o rádio, aqueles métodos tão seguros desempenhados por Hahn e Strassmann levaram à aceitação de que o urânio produzia efetivamente o bário.

A questão, naturalmente, não se encerrava por aí, pois o valor da consistência com o modelo nuclear da gota líquida de Gamow, um objetivo da física nuclear e da radioquímica que se sustentava desde a ‘descoberta’ dos transurânicos e que justificava a busca pelo rádio naqueles produtos, precisava ser revisto. Assim, a precisão daqueles novos métodos, que impeliam a aceitação da produção de bário, exigiram uma revisão axiológica da física nuclear e da radioquímica: a adequação empírica daquelas evidências passou a ser mais forte, para Meitner, Hahn e Strassmann, que a consistência com o modelo nuclear de gota líquida.

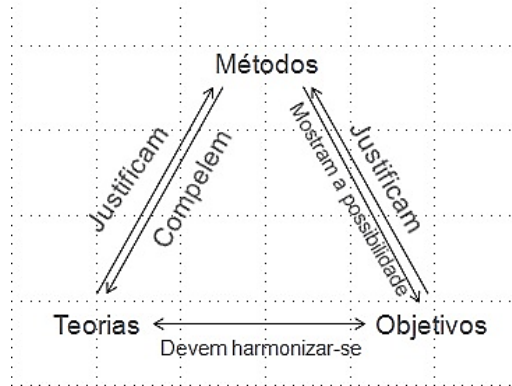


Fig. 4.2: A rede triádica de justificação, do modelo reticulado de Laudan (1984, p. 63)

Enfim, Meitner e Frisch desenvolveram uma teoria, a da fissão nuclear, que também propôs uma adequação na concepção de núcleo, reorganizando os objetivos e valores da ciência e expondo a dimensão axiológica daquele novo conhecimento: dentro dos novos quadros teóricos ele era, além de consistente com uma nova dimensão do modelo nuclear de gota líquida e preciso empiricamente, também mais simples, fecundo e capaz de explicar todas as anomalias que se interpunham à ciência nuclear nos últimos cinco anos. Em seu artigo de duas páginas, Meitner e Frisch (1939) realizaram uma harmonização entre objetivos e teorias da ciência.

A atribuição de ilogicidade da prática científica, feita por Stuewer e secundada por Sime (2000), não se sustenta quando se nota que os cientistas envolvidos se guiaram sempre pelos referenciais teóricos, metodológicos e axiológicos de suas ciências e, mais do que isso, propuseram-se a revisar e analisá-los criticamente quando eles não mais resistiam. Essa relação reticulada, como bem afirma Laudan (1984), é o que uma boa teoria de racionalidade pode efetivamente demandar da ciência.

Além da racionalidade, cabe destacar determinados aspectos que contribuíram para a objetividade, no sentido advogado por Longino (1990), do conhecimento em produção pelo grupo de Berlim. Para a filósofa, a objetividade da ciência está intimamente relacionada com a coletividade – ou seja, com uma perspectiva da ciência como prática – e com a circulação de conhecimentos. A troca de ideias e a publicidade das hipóteses, na ciência, permite diversos tipos de críticas entre os pares,

conceituais e sobre evidências. Entre as críticas conceituais, existem aquelas quanto à solidez conceitual de uma hipótese, quanto à sua consistência com os cânones da área e quanto à relevância da evidência em relação à hipótese que busca fundamentar. Logicamente, são necessários espaços e meios para essa circulação de conhecimentos: padrões compartilhados por toda a comunidade, como linguagem e objetivos; periódicos, eventos, livros didáticos e premiações (para o reconhecimento da aceitação do conhecimento) e igualdade de autoridade intelectual.

O contexto histórico de Meitner, Hahn e Strassmann foi bastante peculiar em relação a esses requisitos. Paulatinamente, a troca de ideias entre grupos de diversos países, feitas por meio de cartas ou artigos científicos, foi tornando-se mais difícil. Além disso, com a ascensão do partido nazista ao poder na Alemanha, a perseguição aos judeus culminou na fuga de Meitner, separando o grupo. É interessante que Hahn e Meitner tenham criado métodos de manter a vigorosa intersubjetividade típica das décadas de trabalho conjunto, com a troca de cartas e até um encontro, em novembro de 1938, na Dinamarca.

Marca central da objetividade para Longino (1990), a intesubjetividade é mais efetiva conforme for mais heterogêneo o grupo nela envolvido. Nota-se que a formação interdisciplinar era fato entre grupos estudiosos da radioatividade, desde seu desenvolvimento, na primeira década do século 20. Na década de 1930, os principais grupos que investigavam o bombardeamento de urânio com nêutrons também tinham essa diversidade de formação. Na França, os físicos Irène e Frédéric Joliot-Curie trabalharam em colaboração com o físico-químico iugoslavo Pavle Savitch. No grupo italiano de físicos liderado por Fermi, Oscar D'Agostino destacava-se por ser químico.

Mas, como salienta Krafft (1983), nenhum grupo era tão heterogêneo quanto o de Berlim. Por formação, Meitner era física e Hahn, químico orgânico. Por força das pesquisas em que se envolveram, passaram a se centrar em radioatividade, física nuclear e radioquímica, sendo dois dos pioneiros nessas então recentes ciências. Strassmann, que se juntou a eles mais tarde, era químico analítico. Essa variedade de pontos de vista sobre o mesmo objeto propiciou os meios para que os três pudessem buscar a melhor teoria para as anomalias que não paravam de se acumular. A natureza do fenômeno que investigavam não permitiria uma abordagem completa unilateral. Foram necessárias hipóteses e ajustes na física, assim como metodologias da química, para que se pudesse chegar à interpretação alcançada. O que permitiu essa reticulação foi precisamente a intersubjetividade por eles mantida apesar das



dificuldades que a comunidade científica, em razão dos acontecimentos políticos, tinha de preservar. Além disso, entre eles era respeitada a igualdade de autoridade intelectual. Apesar de Strassmann ver Meitner como líder inquestionável da equipe (HOOK, 2007), nota-se na intensa troca de cartas entre ela e Hahn no fim de 1938 que essa liderança não silenciou as novas sugestões de Hahn. Pelo contrário, o apontamento de que não era possível separar os compostos de bário do produto da irradiação, face às incoerências físicas que tanto incomodavam Meitner, rendeu um incentivo na forma da lembrança, por parte da austríaca, de que grandes mudanças podiam sim ocorrer na física.

Meitner, Hahn e Strassmann se permitiram criticar hipóteses, questionar métodos, adequar seus valores na troca de suas ideias – uma troca de natureza horizontal, não hierárquica e, de modo mais importante, interdisciplinar. Esses fatores levaram a um resultado diferente do ocorrido cinco anos antes, em que físicos e químicos tinham todas as possibilidades – inclusive um contexto político menos hostil – de promover uma maior crítica intersubjetiva aos trabalhos do grupo italiano de Fermi. As objeções de Ida Noddack em relação à solidez química de várias das suposições dos romanos, assim como sua sugestão de uma cisão nuclear foram negligenciadas, parcialmente em virtude da inconsistência com os cânones da ciência nuclear da época, mas possivelmente também em razão de certos valores contextuais, como sua posição política nazista, seu gênero e sua reputação científica manchada. Apesar de ter os meios necessários para a circulação e apreciação de suas críticas, faltou à comunidade, por diversos motivos, a igualdade política que permitiria a intersubjetividade naquele momento crucial.

Meitner teve papel significativo para a fissão nuclear não apenas com a interpretação do fenômeno, em conjunto com seu sobrinho. Suas frequentes críticas conceituais também foram determinantes para Hahn e Strassmann. Entretanto, o divórcio promovido por Hahn entre física e química – e, por consequência, da longa parceria entre ele e sua colaboradora – associado ao contexto da Segunda Guerra, foi uma das razões para que Meitner não fosse amplamente reconhecida como co-descobridora da fissão (SIME, 1989). Além disso, por uma aparente questão de autoridade, o mesmo ocorreu para Strassmann, cuja relevante parte nas pesquisas químicas executadas foi bastante relegada pela comunidade, mesmo sendo coautor do artigo tido como emblemático da descoberta da fissão (KRAFFT, 1983). O conhecimento da fissão, no entanto, não foi negligenciado, intensificando a corrida bélica e motivando a láurea concedida a Hahn na área da química pelo Instituto Nobel, em 1944.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES EDUCACIONAIS

Apesar das críticas e objeções sobre questões filosóficas e o ensino de ciências (ACEVEDO *et al*, 2005), é de certo modo consensual na área que a formação de professores não pode prescindir de discussões acerca da natureza da ciência e de sua história. Elas são formas de instrumentalizar o professor, promovem uma compreensão crítica da ciência e inclusive da organização dos livros didáticos, propiciando uma prática docente que complementa, em termos epistemológicos, os conceitos tratados em sala de aula (ALMEIDA; FARIAS, 2011; CHINELLI; VENTURA; AGUIAR, 2010; GIL-PÉREZ *et al*, 2001; MATTHEWS, 1994). Naturalmente, a dúvida acerca de que concepções incluir na formação de professores é legítima, visto que há um amplo espectro delas entre as filosofias pós-positivistas, muitas vezes mutuamente excludentes. Há, contudo, algumas noções cujo entendimento alcança certa concordância na filosofia da ciência, como a ciência não ser socialmente neutra, a falácia do Método Científico empírico-indutivista, a busca por uma coerência global e que as investigações buscam também o pensamento divergente (GIL-PÉREZ *et al*, 2001). A história da fissão pode promover exemplos para todos esses aspectos.

Complementar aos aspectos lançados por Gil-Pérez *et al* (2001), a ideia de que juízos de valor permeiam a atividade científica também atinge um alto grau de concordância entre os filósofos. Diferentemente do que se pode imaginar, isso não significa incorrer em abrir mão da racionalidade e da objetividade, algo manifestamente indesejado entre educadores em ciências (PIETROCOLA, 1999; LABURÚ; SILVA, 2000), pois nas visões de Laudan e Longino, isso não se sustenta. Logicamente, para compreender os juízos de valor por esses estudiosos, é necessário revisitar esses conceitos filosóficos cujas compreensões, entre autores de ensino de ciências, ainda são predominantemente aquelas herdadas dos positivistas (e pouco reformuladas pelos primeiros pós-positivistas). Sobre os juízos de valor e seu papel para a racionalidade e a objetividade da ciência, buscou-se mostrar que a história da fissão também é pujante em exemplos.

O que procede tacitamente da aceitação do papel desempenhado pelos juízos de valor na ciência tem relação com certas concepções equivocadas da atividade bastante conhecidas na área de ciências, sobretudo com as ideias aproblemática, acumulativa e individualista da ciência. Apontadas por Gil-Pérez *et al* (2001) em seu levantamento, essas ideias podem ser propagadas em sala de aula justamente em razão da

transposição didática sofrida pelo conhecimento para que se adapte à estrutura tradicionalmente desejada para o livro didático. Os processos de didatização, que buscam organizar os conhecimentos segundo um encadeamento lógico mais compreensível aos alunos são inerentemente supressores dos problemas e mudanças conceituais que ocorrem reiteradamente na ciência.

Problemas não são estrangeiros na ciência; pelo contrário, intercorrem regularmente, e em diversas de suas dimensões e níveis (LAUDAN, 2011). No episódio da fissão, o problema implícito das fronteiras da tabela periódica foi incentivador para as pesquisas de Fermi; mais tarde, os problemas causados pelas inconsistências e incoerências da interpretação dos transurânicos foram essenciais para que novos métodos, fatos e valores fossem invocados nas investigações. Os problemas estiveram intrinsecamente ligados ao progresso da ciência na descoberta da fissão, propiciando novos caminhos, exigindo novas perspectivas sobre fenômenos e evidências.

Esses problemas, que não são familiares apenas à história da fissão, mas uma constante na história da ciência, em geral são relegados nos livros em virtude dos processos de didatização, como as descontextualizações histórica e conceitual (dessincretização). O encadeamento lógico dos conceitos presentes nos livros didáticos dificilmente se assemelha à sua evolução histórica; neste sentido, os problemas que fizeram parte de uma determinada pesquisa são sistematicamente suprimidos, difundindo uma ideia aproblemática da atividade científica. Mas não somente eles: as mudanças conceituais de todos os portes que acontecem com alguma frequência nas ciências, também acabam sendo omitidas em virtude da reorganização dos conhecimentos. Mostrar as diversas dimensões da ciência que fizeram com que uma certa teoria fosse revolucionária exige uma abordagem fortemente contextualizada, uma discussão ampla de conceitos chave que, muitas vezes, foram inclusive abandonados no decorrer da ciência. Como essas questões estão fora dos objetivos da didatização tradicional da ciência, muitos livros propagam, pela omissão, uma ideia acumulativa do conhecimento científico.

Enquanto um novo fenômeno, a fissão nuclear foi produto de uma mudança não apenas teórica, mas também metodológica e axiológica. Com ela, um novo esquema conceitual foi traçado; alicerçado em um modelo nuclear diferente (o modelo de gota líquida oscilatório de Bohr, em lugar do modelo de gota líquida quântico de Gamow), esse novo esquema permitiu uma diferente visão do núcleo, dos fenômenos nucleares e dos elusivos elementos transurânicos (que, repentinamente e

mais uma vez, viam-se sem apoio empírico ou consistência). Para Andersen (1996; 1998) essas são evidências de que, guardadas as proporções, a fissão nuclear tenha provocado uma revolução dentro dos cânones nucleares da década de 1930. Uma visão acumulativa da ciência, contudo, negligenciaria tais fatos históricos e epistemológicos.

Um outro efeito da transposição didática, sobretudo do processo de despersonalização do conhecimento, é a omissão do caráter coletivo da ciência. Entretanto, não raro ocorre uma espécie de repersonalização, em que se atribuem teorias, conceitos e enunciados a determinados cientistas, sem menções à comunidade da qual fizeram parte – e da contribuição desta comunidade para o conhecimento exposto no livro. Uma concepção individualista da ciência resulta desses processos, enfatizando o mito do cientista genial, homem e geralmente europeu.

Naturalmente, as contribuições de certos cientistas não devem ser menosprezadas, tampouco devem ser relegadas suas genialidades. Contudo, mesmo o mais genial pensador é fruto de um contexto científico, de um momento histórico e de um modo de pensar e ver o mundo. Além disso, mesmo em tempos de circulação de conhecimentos mais limitada, cientistas não estiveram livres da intersubjetividade e da crítica intersubjetiva, determinantes para a consolidação de teorias. Uma imagem individualista da ciência negligencia, portanto, não apenas a coletividade da ciência, mas o caráter cognitivo e lógico da atividade, como destaca Longino (1990).

Ademais, a disseminação de uma concepção elitista da ciência tem sido também fator para a invisibilidade da mulher no conhecimento científico escolar. Na conjuntura histórica (e prevalente até a atualidade) de desigualdade de gêneros, esse efeito passa inclusive despercebido, reiterando a já enraizada concepção de que a ciência é feita por homens brancos, com algumas exceções que reafirmam a regra. Porém, sempre houve participação feminina na ciência, com particularidades disciplinares. Naturalmente, com a abertura das universidades às mulheres, no século XX, essa participação vem aumentando, embora em ritmo mais lento do que o esperado e necessário (SCHIEBINGER, 2001).

Uma das grandes contribuições que a história da física nuclear pode dar à educação científica é a de mostrar um episódio da história da física e da química, em geral consideradas as mais masculinas das ciências, em que não apenas as mulheres fizeram parte, mas protagonizaram as pesquisas. Lise Meitner e Irène Joliot-Curie eram consideradas as líderes de seus grupos e eram internacionalmente reconhecidas (HOOK, 2007). Ida Noddack também era bastante reconhecida em sua área, apesar da reputação científica manchada pelo

falso descobrimento do masúrio (hoje conhecido como tecnécio). Essa proeminência como líderes de pesquisa, no entanto, não é simbólica de uma ciência igualitária. Pelo contrário, todas elas – Marie Curie, Ida Noddack, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner – tiveram que enfrentar uma parcela de obstáculos desconhecida por seus pares homens, desde o acesso à educação, passando pela remuneração de seus trabalhos até o reconhecimento de suas contribuições (McGRAYNE, 1994). É notável que o tipo de abordagem escolar descontextualizada e despersonalizada da ciência é um dos fatores que diminui o interesse de meninas e mulheres nessas disciplinas e nas carreiras científicas (BUCK et al, 2008; JOHNSON, 2007).

Alguns teóricos perguntaram-se sobre o que resultaria da descoberta da fissão, se tivesse ocorrido cinco anos antes, com a apreciação crítica da hipótese de Ida Noddack. Em termos sociais, Maddox (1999), por exemplo, vislumbra um passado ainda mais catastrófico. Já em relação a questões epistemológicas, Sime (2000) defende que aquele teria sido a primeira das escolhas lógicas que se puseram (e foram relegadas sistematicamente). Com o auxílio da tese filosófica de Laudan (1984), no entanto, essa visão proposta por Sime (1990) não encontra fundamento: a dimensão lógica da ciência não erode em virtude da escolha (mais tarde compreendida como) equivocada do cientista, desde que ele se mantenha crítico em relação aos problemas que surgirão nos níveis teórico, metodológico e axiológico de sua prática. Já em relação à especulação de natureza social de Maddox (1999), as concepções de Longino (1990) podem se mostrar particularmente interessantes. Analisando a dimensão axiológica daquele momento histórico, é possível notar que a competição, a corrida científica e a intolerância, enquanto fatores preponderantes, dificilmente levariam a um cenário de paz. “É uma especulação de arrepiar os cabelos imaginar como o curso da história recente teria mudado se a fissão nuclear tivesse sido descoberta dez anos antes” (MADDOX, 1999, p. 69). Aliadas às questões sobre natureza da ciência e seus efeitos na formação de professores, essas questões filosóficas, amparadas na relação entre ciência e valores, podem e devem também ter seu espaço na educação científica.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ANDERSEN, H. Categorization, anomalies, and the discovery of nuclear fission. **Studies in the History and Philosophy of Modern Physics**, v. 27, n. 4, p. 463, 1996.

ANDERSEN, H. Characteristics of scientific revolutions. **Endeavour**, v. 22, n. 1, p. 3, 1998.

ALVAREZ, L. W. **Adventures of a physicist**. Nova York: Basic Books, 1987.

BUCK, G. A.; CLARK, V. L. P.; LESLIE-PELECKY, D.; LU, Y.; CERDA-LIZARRAGA, P. Examining the cognitive processes used by adolescent girls and women scientists in identifying science role models: a feminist approach. **Science Education**, v. 92, p. 688, 2008.

FRISCH, O. R. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. **Nature**, v. 143, p. 276, 1939.

FRISCH, O. R. Discovery of fission: how it all began. **Physics Today**, nov. 1967.

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, 2001.

HAHN, O. From the natural transmutations of uranium to its artificial fission (1946). In: \_\_\_\_\_. **Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962**. Amsterdam: Elsevier, 1964.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. **Die Naturwissenschaften**, v. 27, p. 11, jan. 1939a.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. Nachweis der Entstehung activer Bariumisotope aus Uran und Thorium durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uranspaltung. **Die Naturwissenschaften**, v. 27, n. 6, p. 89, fev. 1939b.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. (1939a). Concerning the existence of alkaline earth metals resulting from neutron irradiation of uranium. **American Journal of Physics**, v. 32, n. 1, p. 9, 1964.

HAHN, O.; STRASSMANN, F. (1939b). Proof of the formation of active isotopes of barium from uranium and thorium irradiated with neutrons;

proof of the existence of more active fragments produced by uranium fission. **Journal of Chemical Education**, p. 363, 1989.

HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. In: HOOK, E. B. (org.). **Prematuridade na descoberta científica**: sobre resistência e negligência. São Paulo: Perspectiva, 2007.

JOHNSON, A. C. Unintended consequences: how science professors discourage women of color. **Science Education**, v. 91, p. 805, 2007.

LABURÚ, C. E.; SILVA, M. R. Do relativismo no ensino de física ao objetivismo na física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 121, 2000.

LAUDAN, L. **Science and values**: the aims of science and their role in scientific debate. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1984.

LONGINO, H. **Science as a social knowledge**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

MCGRAYNE, S. B. **Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em ciências**: suas vidas, suas lutas e notáveis descobertas. São Paulo: Marco Zero, 1994.

MEITNER, L.; FRISCH, O. R. Desintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction. **Nature**, v. 143, p. 239-240, fev. 1939.

McMULLIN, E. Values in Science. In: **PSA**: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. The University of Chicago Press, v. 2: Symposia and Invited Papers, p. 3, 1983.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213, 1999.

QUILL, L. L. The transuranium elements. **Chemical Reviews**, v. 23, p. 87, 1938.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru, SP: EDUSC, 2001.

SIME, R. L. Lise Meitner and the discovery of fission. **Journal of Chemical Education**, v. 66, n. 5, mai. 1989.

SIME, R. L. The search for transuranium elements and the discovery of nuclear fission. **Physics in Perspective**, v. 2, p. 48, 2000.

SODDY, F. The origins of the conceptions of isotopes (1922). In: **Nobel Lectures, Chemistry, 1901 – 1921**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1966.

SPARBERG, E. B. A study of the discovery of fission. **American Journal of Physics**, v. 32, p. 2, jan. 1964.

STUEWER, R. H. The nuclear electron hypotheses. In: SHEA, W. R. **Otto Hahn and the rise of nuclear physics**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985.

STUEWER, R. H. Bringing the news of fission to America. **Physics Today**, out. 1985.

STUEWER, R. H. Gamow, alpha decay, and the liquid drop model. In: HARPER, E.; PARKE, W. C.; ANDERSON, D. (orgs). **George Gamow Symposium. ASP Conference Series**, v. 129, 1997.



## **5 FISSÃO NUCLEAR E VALORES: POSSIBILIDADES PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA**

### **Nuclear fission and values: possibilities for science education**

#### **Resumo**

Este trabalho descreve a investigação baseada na fundamentação, na concepção, no desenvolvimento e na avaliação de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) de seis encontros, sobre o tema fissão nuclear e valores. Destinada a pesquisadores de ensino de ciências, especialmente de física, ela buscou, através da história da origem da fissão nuclear, aproximar investigadores do ensino de ciências do tema ciência e valores, que vem protagonizando interessantes teses filosóficas, sobretudo desde a década de 1980. Composta por doze etapas, a UEPS é constituída por dois módulos predominantemente filosóficos, dois módulos de análise epistemológica do episódio, e um último módulo, de considerações finais sobre a pertinência do assunto para a educação científica. Como parte da avaliação, os participantes confeccionaram esquemas conceituais relativos aos assuntos epistemológicos e desenvolveram suas próprias unidades de ensino sobre a relação entre ciência e valores, para diferentes públicos e com base em episódios históricos distintos.

#### **Abstract**

This paper describes the conception, development, implementation, and evaluation of a potentially meaningful teaching unit (PMTU). Focusing on the role played by cognitive and contextual values in the history of nuclear fission, this unit was designed to promote the philosophical theme among Science education scholars. In twelve stages, implemented in six encounters, the unit comprises two predominantly philosophical modules, followed by two epistemological analysis of the history of nuclear fission, and a later module concerning the relevance of the subject for Science education. As a part of the overall evaluation, the scholars elaborated conceptual maps of the philosophical subject matter, and developed their own units on the subject, for different educational levels, based on distinct historical episodes.

**Palavras-chave:** fissão nuclear; ciência e valores, unidade de ensino potencialmente significativa.

**Keywords:** nuclear fission, Science and values, potentially meaningful teaching unit.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A filosofia da ciência que tem acompanhado as reflexões educacionais brasileiras vem se centrando predominantemente em referenciais das décadas de 1960 e 70, em obras de filósofos pós-positivistas, como Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Paul Feyerabend. Há também uma expressiva quantidade de trabalhos focados nas ideias de Gaston Bachelard e Ludwik Fleck, ambos filósofos da década de 1930, mas considerados porta-vozes de ideias vanguardistas, precursoras da grande crítica ao positivismo que se instaurou três décadas mais tarde. As contribuições das obras desses filósofos são inquestionáveis, especialmente para a educação científica, pois, ao romperem com os dogmas metodológicos do positivismo, expandiram os horizontes de possibilidades para o ensino de ciências e jogaram luz à natureza do conhecimento científico didatizado e ensinado.

Naturalmente, para se quebrar um paradigma tão fortemente assentado como o positivismo, foram necessárias ideias radicais e problematizações inusitadas. Foi a essa receita que recorreram os pós-positivistas da década de 1960: em nome da total desconstrução do positivismo, certos conceitos tão caros à ciência, como a objetividade e a racionalidade, foram também abalados. Foram grandes os benefícios, já que as dimensões sociológica, política e axiológica da ciência puderam entrar em jogo e a atividade teve sua imagem humanizada. Por outro lado, abriu-se uma lacuna espantosa que se fundamentava justamente nos conceitos ora abalados. Se a ciência não é racional nem objetiva, o que a diferencia de outros corpos de conhecimento? O que explica, enfim, seu relativo sucesso? (McMULLIN, 1983; LAUDAN, 1984; LONGINO, 1990)

Desde a década de 1980, os filósofos vêm resgatando esses conceitos e desenvolvendo teses filosóficas capazes de articular as dimensões política, sociológica e axiológica da ciência aos conceitos de objetividade e racionalidade, atualmente revisitados. É uma linha filosófica protagonizada pela relação entre ciência e valores – ou seja, pelo papel essencial desempenhado pelos juízos de valor dos cientistas, assim como a circulação do conhecimento na forma de crítica intersubjetiva. São teorias da ciência erigidas sobre a crítica simultânea ao positivismo e aos pós-positivistas da década de 1960, que, apesar das claras potencialidades para o ensino de ciências, ainda não foram apropriadas pela área.

Este artigo objetiva descrever a concepção, a implementação e a avaliação de um minicurso na forma de uma unidade de ensino

potencialmente significativa (UEPS), fundamentada principalmente na Teoria da Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 2015), sobre a relação entre ciência e valores, com o auxílio de uma análise da história da gênese da fissão nuclear, ocorrida durante a década de 1930. Com a intenção de avaliar as possibilidades do tema filosófico, ainda pouco explorado, para a educação científica, o minicurso foi dirigido a pesquisadores em ensino de física, em níveis de doutorado e mestrado. A ideia central é a de divulgar esse segmento mais contemporâneo da filosofia da ciência, procurando efetivar a intersubjetividade entre pares educadores acerca das possibilidades educacionais do tema e facilitar um espaço de reflexões para suas possibilidades de didatização.

## 5.2 CONCEPÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA DA UEPS

O ser humano investiga, analisa e constrói interpretações sobre os fenômenos que lhe interessam e dizem respeito, na busca incessante por conhecer. Mais ainda, as pessoas são capazes de se questionar sobre as formas como essas investigações ocorrem e a natureza dos conhecimentos produzidos. Assim, o que se pode chamar de metac conhecimento são processos de construção de conhecimento sobre o conhecimento, que se consumam sobretudo na epistemologia e em diversas filosofias, como a da ciência. Um processo distinto, mas intrinsecamente relacionado, é a meta-aprendizagem; materializada no cognitivismo e na psicologia da educação, ela é basicamente a aprendizagem sobre a aprendizagem. Porquanto as teorias de conhecimento venham ocupando estudiosos desde a Antiguidade, o cognitivismo é um fenômeno muito mais recente: o despontar dos estudos sobre aprendizagem, especialmente a aprendizagem dissociada de processos mnemônicos, ocorreu apenas na segunda metade do século XX. Mesmo com essa lacuna histórica em suas construções, esses são dois campos de conhecimento vinculados e, segundo Novak e Gowin (1984), essenciais para o mútuo sucesso de estratégias metodológicas neles fundamentadas.

Há um debate histórico e multidisciplinar acerca da parcela de influências ambientais e herdadas geneticamente na constituição cognitiva e comportamental dos indivíduos, chamado *nature/nurture*. De fato, essa controvérsia tem espaço especialmente grande nas investigações sobre a formação dos primeiros conceitos, da aprendizagem no começo da vida. Se os fatores influenciadores na forma como são adquiridos conhecimentos pelas crianças ainda geram discussões, o fato é que elas os adquirem. Há diversas interpretações acerca dessa aquisição;

para a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) do psicólogo educacional David Ausubel, os primeiros conhecimentos são produtos de uma espécie de aprendizagem por descoberta, em que hipóteses, generalizações e comparações têm papel essencial e interativo (MOREIRA, 2009).

Assim, é formada em cada indivíduo sua própria estrutura cognitiva, com os conhecimentos prévios, oriundos de sua relação com o mundo e sua visão dos fenômenos. Esses conhecimentos, que podem ser ideias, conceitos, proposições, construtos, foram chamados por Ausubel, em inglês, de *subsumers*, e em português traduzido como subsunçores. Frequentemente, os estudiosos da TAS traçam uma analogia entre subsunçores e âncoras, pois se comportam como os construtos aos quais outros novos conhecimentos se associarão, em um processo interativo, no progresso da aprendizagem.

Diferentemente de âncoras, no entanto, os subsunçores podem ser alterados durante os processos de conhecimento e aprendizagem; como Ausubel bem aponta, quando a aprendizagem é significativa, ela provoca interações entre os novos conhecimentos e os subsunçores. Nesta interação, que é rica e dinâmica, não apenas os novos conhecimentos podem se enriquecer, ganhar novos significados – ou seja, se diferenciar e reconciliar – mas também os próprios subsunçores. É natural que, ao longo da vida, conhecimentos sobre determinadas coisas tornem-se cada vez mais diferenciados e/ou inclusivos. É igualmente natural que determinados conhecimentos sofram um processo de obliteração, ou seja, percam parte de seu significado (por esquecimento) se não foram acionados com alguma frequência (MOREIRA, 2012).

Para ser significativa, a aprendizagem precisa ter significado para quem aprende; para isso, a estrutura cognitiva do aprendiz precisa interagir de forma não arbitrária, ou seja, precisa se relacionar a determinados conhecimentos especificamente relevantes. Além disso, ela precisa de substantividade, isto é, que o cerne, a substância dos novos conhecimentos seja incorporada à estrutura cognitiva do aprendiz. Em outras palavras, não havendo substantividade e não-arbitrariedade, a aprendizagem não passa de um processo mecânico, que apesar de seu valor na estrutura geral de conhecimento, não é suficiente para garantir uma cognição duradoura, em que significados lógicos se traduzam em significados psicológicos (MOREIRA, 1997).

Dois processos são responsáveis pela contínua aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva é o que garante que determinados conceitos ganhem novos e diferentes significados, enriquecendo-se, sendo

utilizados em diferentes situações. Na reconciliação integradora, simultânea à diferenciação progressiva, os diferentes significados de um conceito são integrados, suas inconsistências resolvidas e suas diferenças aparentes são eliminadas. Nota-se que, para ser significativa, a aprendizagem não precisa ser a correta. De fato, todos esses processos ocorrem quando o sujeito se dispõe a conhecer e buscar dar significação ao que conhece, o que explica a longa permanência de determinados significados, mesmo após anos de escolaridade. É por este motivo que, idealmente, a educação formal deveria buscar, incessantemente, promover também aprendizagens significativas. Para isso, é necessário que as estratégias de ensino busquem ser potencialmente significativas, isto é, levem em conta os subsunçores dos alunos e promovam recursivamente novas situações-problema e considerem a avaliação como algo processual – assim como o é a própria aprendizagem.

Como o próprio Ausubel definiu, o aprendiz é o fator mais importante da aprendizagem significativa: além de interagir com materiais potencialmente significativos, é necessário que ele esteja disposto a aprender, pois é sujeito deste processo. Com essas premissas em mente, o segundo axioma da Teoria se desvela: para que a aprendizagem seja significativa, ela deve promover uma estruturação cognitiva que envolva, além dos novos conhecimentos, aquilo que o aprendiz já sabe, de modo dinâmico e interativo (NOVAK; GOWIN, 1984).

Se o foco da TAS são os processos de estruturação cognitiva, isso não significa que ela ignore a importância das interações sociais, seja na formação dos primeiros subsunçores, seja no seu enriquecimento nos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora. As relações humanas e sociais são, de fato, essenciais para a aprendizagem: são elas que permitirão o reconhecimento de significados de pares, a discussão, a intensa troca que a escola deve proporcionar em primeiro lugar. Essa negociação de significados, feita coletivamente, é parte essencial de unidades de aprendizagem baseadas na TAS.

Unidades de ensino potencialmente significativas são sequências de ensino alicerçadas principalmente na Teoria da Aprendizagem Significativa desenvolvida por Ausubel e continuada por Joseph Novak, Bob Gowin e, no Brasil, por Marco Antonio Moreira. Nessa estrutura teórica, as unidades precisam buscar promover dinâmicas cognitivas como a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora através da recursividade, sempre considerando aquilo que o aprendiz já conhece. Para isso, são utilizados diferentes materiais e abordagens, buscando uma intensa troca de significados entre os participantes e o professor mediador.

A UEPS “Fissão Nuclear e Valores” contou com a participação inicial de cinco acadêmicos da área de educação científica. Três deles (os participantes C, D e E) participaram presencialmente e dois deles (os participantes A e B) interagiram à distância, mas sincronamente, por meio de videoconferência, no Laboratório de Ambientes de Ensino à Distância (LAED), da Universidade Federal de Santa Catarina. Infelizmente, por motivos pessoais, o participante B precisou abandonar o curso a partir do terceiro encontro. Dos quatro participantes que se envolveram integralmente na unidade, três eram doutorandos e um mestrando, todos, do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, no período da implementação. Os quatro faziam suas investigações na linha de pesquisa de História, Filosofia e Ensino de Ciências, o que garantiu as premissas relativas à predisposição à aprendizagem e aos conhecimentos prévios, essenciais para a aprendizagem significativa.

Aplicada durante o segundo semestre de 2015, em seis encontros, a UEPS se constituiu em doze etapas sequenciais: situação inicial, situação-problema inicial, revisão, aprofundamento de conhecimentos, segunda etapa de revisão, situação-problema em nível mais alto de complexidade, nova etapa de aprofundamento, terceira etapa de revisão, aprofundamento com situação histórica, atividade integradora avaliativa, avaliação da aprendizagem e avaliação da UEPS. Com este percurso, buscou-se promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, importantes componentes da aprendizagem significativa, através de intensa recursividade. A unidade foi ministrada pela pesquisadora como parte do componente empírico de sua tese de doutorado, com o acompanhamento de outro pesquisador, essencialmente em papel de observador. Semanalmente, ao longo do período de implementação, ambos analisavam os resultados dos encontros anteriores e planejavam os seguintes.

Com o auxílio da equipe do LAED, os encontros foram gravados em audiovisual, o que permitiu o refinamento das observações e constatações feitas em sala de aula. As gravações permitiram uma melhor análise das aulas, além da compreensão das produções finais dos participantes, na forma de mapas conceituais e unidades de ensino potencialmente significativas.

Cinco artigos foram usados como bibliografia obrigatória. O primeiro, *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)* (MOREIRA, 2015) buscou proporcionar a fundamentação e construção de uma UEPS. Já os artigos *Valores e valores epistêmicos: contribuições axiológicas para a discussão da essência do conhecimento na educação*

*científica, A relação entre ciência e valores constitutivos como um novo horizonte para a pesquisa em educação científica, Ciência e valores na “descoberta” dos primeiros elementos transurânicos e Valores, métodos e evidências: racionalidade e objetividade na descoberta da fissão nuclear*, visaram trazer a questão epistemológica da relação entre ciência e valores e a suas possibilidades para a análise da gênese histórica da fissão nuclear. Estes artigos foram elaborados pela ministrante com a intenção de se constituírem em materiais potencialmente significativos para acadêmicos da área de educação científica, buscando articular as novas ideias apresentadas a olhares amplamente divulgados nas pesquisas em história, filosofia e ensino de ciências. Além destes materiais, um glossário e dois esquemas conceituais foram preparados com o intuito de serem utilizados como organizadores prévios e ferramentas de recursividade. Como produto do minicurso, os participantes desenvolveram suas próprias UEPS sobre o tema filosófico. Com conteúdos físicos distintos dos que foram abordados em aula, e voltadas para alunos de graduação em física (três UEPS) e também para o aluno do ensino médio (uma UEPS), elas oportunizaram uma ação simultaneamente avaliativa para os fins da intervenção realizada e contributiva para a área da educação científica.

### 5.3 “FISSÃO NUCLEAR E VALORES”: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA INTERSUBJETIVA

Um instrumento oriundo da TAS é o diagrama V, um recurso capaz de associar o domínio teórico conceitual do processo de produção do conhecimento com o domínio metodológico dessa produção. Assim, em um diagrama com formato em V, distribui-se à esquerda os temas relativos à dimensão filosófica, ao pensar. Filosofias, teorias, princípios e conceitos por trás de determinados conhecimentos organizam-se do lado esquerdo do esquema. O lado direito reserva-se aos enunciados metodológicos, ou seja, ao fazer. Desse modo, asserções de valor e de conhecimento, assim como as transformações no conhecimento e os registros são distribuídos no lado direito. No centro superior, a questão-foco do diagrama V promove a interação entre seus dois lados; no centro inferior, a convergência entre os dois lados promove a descrição dos eventos e objetos a serem estudados para responder a questão-foco (MOREIRA, 2012). A UEPS “Fissão nuclear e valores” pode ser representada pelo diagrama V da figura 5.1.



Fig. 5.1: Diagrama V da UEPS “Fissão Nuclear e Valores”



Para a execução da unidade, foram elaboradas doze etapas, que ocorreram em seis encontros presenciais. A seguir, descrevem-se as ações e demais procedimentos desenvolvidos em cada aula.

Encontro 1: Valores na ciência e na educação científica –situação inicial e situação-problema inicial (Participantes presentes:A, B, C, D)

A apresentação da unidade, seguida por questionamentos sobre os entendimentos dos participantes em relação à natureza da ciência, visou a estabelecer a **situação inicial** do curso. Perguntou-se aos participantes que tipos de discussões sobre natureza da ciência vinham permeando a pesquisa acadêmica em educação científica e o suposto consenso na comunidade em relação ao tema. Todos os participantes presentes citaram algumas questões mais tradicionais do tema, como a busca pela desmistificação d'O Método Científico (empírico-indutivista e atóricico) e o histórico do tema feito por Lederman (1992). Os participantes A e B, em particular, mencionaram a relação entre ciência e valores; ambos, como alunos do Dinter/PPGECT, haviam cursado, no semestre anterior, uma disciplina que se centrou parcialmente na tese de Hugh Lacey e a relação entre ciência e valores para a neutralidade e a imparcialidade da ciência.

A dimensão axiológica, enfatizada pelos participantes, introduziu o segundo momento da unidade, na forma de uma **situação-problema inicial**, que foi guiada por questionamentos como: valores são aspectos da natureza da ciência? Eles estão presentes nos atos cognoscentes cotidianos? É possível conhecer sem julgar? E os cientistas, fazem juízos de valor? Que valores costumam ser importantes na ciência? Há valores que podem ser maléficicos à ciência? Entender que cientistas fazem juízo de valor influencia em concepções ontológicas do conhecimento científico? É possível a ciência ser racional e objetiva ao mesmo tempo em que é valorativa?

Nesta etapa, foram apontados pelos participantes, especialmente por A e D, aspectos contextuais emblemáticos como as fontes de financiamento de pesquisas científicas e os valores religiosos dos cientistas. Além deles, foram mencionados valores como adequação empírica e coerência, que são tipicamente classificados como científicos, o que levou à discussão sobre as possibilidades de a ciência ser objetiva e racional mesmo sendo feita, em parte, a partir de juízos de valor. Novamente, baseados em suas leituras prévias das obras de Hugh Lacey, os participantes A e B apontaram que neutralidade e imparcialidade, nos termos desse filósofo, preveem uma diferença entre valores cognitivos (ou seja, tradicionalmente considerados entre cientistas na avaliação de

teorias) e não cognitivos (valores contextuais, de naturezas social, política, tecnológica, econômica, teológica) para a imparcialidade da ciência. Aprofundando na relação entre valorações e objetividade e racionalidade, o participante C enfatizou não observar incongruências entre as questões, desde uma concepção diferenciada de objetividade e racionalidade, perspectiva que foi secundada pelos demais.

Apoiado nessas questões, o participante D sentiu a necessidade em definir o que se compreendia, naquela discussão, acerca desses dois conceitos. Essa questão levou à apresentação de um glossário (quadro 5.1), produzido pela ministrante, em que foram introduzidas as definições dos conceitos de valor (e os associados juízo de valor, valor epistêmico, valor cognitivo e valor constitutivo), racionalidade, objetividade e realismo, fundamentadas no dicionário filosófico de Abagnanno (2007) e nas obras que viriam a ser analisadas na disciplina (KUHN, 2009; LONGINO, 1990; LAUDAN; 1984a; LAUDAN, 1984b; McMULLIN, 1984; McMULLIN, 1983). Esse glossário (quadro 5.1), apresentado e discutido após a situação inicial, buscou ser um elemento de estímulo à reflexão sobre as definições filosóficas que seriam tratadas nos próximos encontros.

Neste encontro também foram discutidos, com base no artigo de Moreira (2015), a teoria da aprendizagem significativa e premissas fundamentadoras da construção de unidades de ensino potencialmente significativa. Todos os participantes, em razão de suas pesquisas acadêmicas, tinham algum nível de conhecimento da teoria e de sua metodologia. Esta etapa envolveu uma intensa troca de ideias sobre o objetivo geral do minicurso, a didatização da discussão sobre ciência e valores para a educação científica; assim, esclareceu-se a necessidade de aliar a discussão epistemológica centrada nos conceitos de valor, racionalidade e objetividade com a discussão pedagógica respaldada pelas noções de aprendizagem significativa, diferenciação progressiva, reconciliação integradora e recursividade.

Em reunião posterior ao primeiro encontro, a ministrante e o observador reuniram-se para discutir os significados externados pelos participantes. Com essas reflexões e os variados significados discutidos, decidiu-se pela confecção de um esquema conceitual relativo ao texto da aula seguinte, usando os conceitos apresentados no primeiro encontro, buscando proporcionar um instrumento organizador para a leitura e as discussões.

### **Glossário**

**Valor:** etimologicamente, refere-se ao que deve ser objeto de preferência ou escolha. Uma teoria filosófica de valores (ou virtudes) busca desenvolver uma disciplina inteligente das escolhas, tendendo a determinar as autênticas possibilidades de escolha. **Juízo de valor:** decisões tomadas com base em critérios (valores), que apesar de fornecerem orientações eficazes e influenciarem nas decisões, não determinam a decisão. Podem ser avaliações, ou medições do valor de ou agregado a algo, como podem ser valorações, que são ponderações entre os valores identificados (individual ou coletivamente) nos objetos e que influenciam uma escolha ou decisão. **Valor epistêmico:** noção realista de que os valores invocados na escolha teórica levam à aproximação de uma compreensão da realidade dos fenômenos investigados. **Valor cognitivo:** noção antirrealista sobre os aspectos cientificamente esperados dos fenômenos, que ajudam na construção do seu entendimento. **Valor constitutivo:** valores que influenciam a prática científica, que podem ter natureza cognitiva ou contextual.

**Racionalidade:** Caracteriza aquilo que se origina ou se baseia na razão. De um ponto de vista epistemológico, o conceito encontra-se no cerne das questões sobre o que define uma escolha racional. No sentido tradicional, a racionalidade na ciência encontra-se na capacidade dos cientistas de se manterem firmes aos métodos de investigação e, especialmente, de justificação. Para antirrealistas que consideram a relação entre o desenvolver da ciência e os juízos de valores nela desempenhados, a racionalidade está intimamente atrelada aos ajustes, desempenhados intersubjetivamente, entre teorias, métodos e valores da ciência, capazes de gerar consenso e eliminação de preferências subjetivas problemáticas ao melhor entendimento dos fenômenos estudados.

**Objetividade:** Em um sentido tradicional, é o resultado da aplicação de um método que, em uma instância realista, pode revelar a característica daquilo que é objeto. Objetividade, em sentido tradicional realista crítico também pode ser vista como o caráter da consideração que procura ver o objeto como ele é, desprovido das subjetividades de quem o considera. Desde uma perspectiva antirrealista, o sentido de objetividade tem a ver com a capacidade de discussão e justificação de determinadas escolhas.

**Realismo:** doutrina filosófica que questiona a realidade material e ontológica dos fenômenos. Em termos epistemológicos, o realismo defende a possibilidade de acesso cognitivo humano à realidade dos fenômenos. A vertente realista crítica busca evidências de que, na impossibilidade lógica de garantia de acesso à realidade dos fenômenos, é possível a aproximação cognitiva dessa realidade.

Encontro 2: Valores e valores epistêmicos – Primeira etapa de revisão e aprofundamento de conhecimentos (Participantes presentes: A, B, C, D, E)

Para o segundo encontro, os participantes receberam por correio eletrônico o texto base, Valores e valores epistêmicos: contribuições axiológicas para a discussão da essência do conhecimento na educação científica, que discute as visões de Thomas Kuhn e Ernan McMullin sobre a relação entre ciência e valores. Kuhn (1973; 2009), no intento de defender sua tese filosófica das acusações de irracionalidade, recorre aos valores ponderados pelos cientistas na negociação da escolha teórica. Ele elenca cinco valores – precisão, longo alcance, simplicidade, fertilidade e consistência – que em geral são invocados por cientistas quando se veem em uma situação de escolha teórica. Por serem valores, são parcialmente objetivos e subjetivos e, naturalmente, exigem negociação entre a comunidade científica. Uma década mais tarde, o realista crítico irlandês McMullin (1983) reestrutura a lista de Kuhn e classifica os valores da precisão preditiva, coerência interna, consistência externa, poder unificador e fertilidade como valores epistêmicos – pois para ele há fortes razões históricas para se acreditar na capacidade desses valores de promover a natureza realista dos conhecimentos científicos. Neste texto, são discutidas, também, as similaridades e diferenças entre os dois pensadores, especialmente no que concerne às consequências de suas posturas ontológicas para suas concepções epistemológicas. Ao fim, são apontados os possíveis subsídios que esta discussão pode fornecer às pesquisas em ensino de e sobre ciências.

Juntamente ao texto, foi enviado aos participantes o esquema conceitual bastante amplo (fig. 5.2) referente a ele, buscando proporcionar uma ferramenta de recursividade para a leitura. Nele, alguns dos conceitos articulados no encontro anterior são explicitados e relacionados segundo o texto lido, fomentando assim uma primeira etapa de revisão da UEPS.

## Fissão Nuclear e Valores

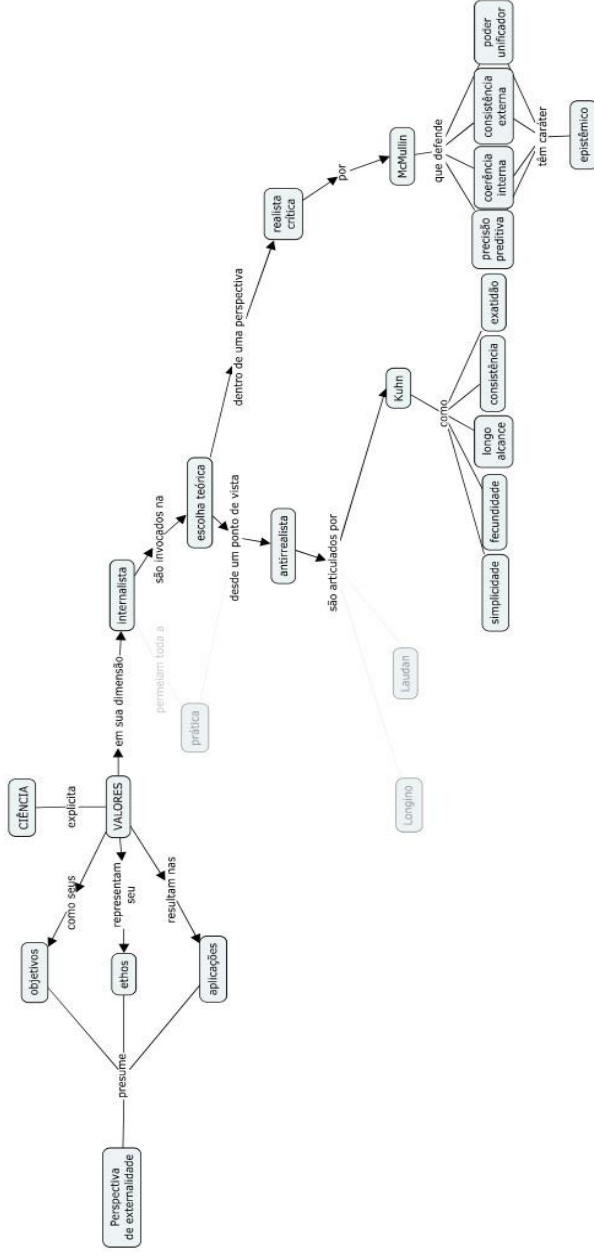


Figura 5.2: Esquema conceitual relativo ao primeiro texto

Após a introdução do esquema e a breve apresentação de alguns de seus aspectos, passou-se para o debate sobre o texto, iniciando uma etapa de **aprofundamento de conhecimentos**. A discussão centrou-se nas influências do antirrealismo de Kuhn e do realismo crítico de McMullin em suas visões sobre os juízos de valor envolvidos na escolha teórica. A tese realista crítica foi defendida com alguma veemência pelos participantes A e B, apesar de não demonstrarem filiação especial às ideias de McMullin. O participante A, além disso, questionou a necessidade da classificação ontológica dos filósofos estudados, sobretudo de Kuhn, já que, em seu artigo, ele não relaciona suas perspectivas a alguma noção de realidade ou verdade.

Discutiu-se, então, a impossibilidade de separação entre as questões justamente porque, sem a perspectiva ontológica desses filósofos, suas teses podem inadvertidamente soar similares o suficiente para se preconizar uma continuidade de pensamento – o que seria decididamente falso, sobre o qual concordaram os participantes C e E. São as diferenças de concepções ontológicas sobre o conhecimento científico que explicam, por exemplo, a normatividade da tese de McMullin, em contraste à sugestão de uma lista não exaustiva de valores por parte de Kuhn. Além disso, enfatizou-se a importância dessa compreensão para as pesquisas em educação científica, numa maneira de tornar mais compreensíveis determinadas discussões epistemológicas e ontológicas ainda bastante desarticuladas.

Além deste ponto, duas outras questões emergiram, dividindo as posições dos participantes. Uma delas relativa às diferenças entre realismos ontológico e epistemológico, em que se discutiu a realidade dos fenômenos e a realidade do conhecimento científico acerca desses fenômenos. Estas diferenciações se mostraram especialmente estranhas aos participantes B e, principalmente, D, que já usando o referencial educacional da implementação, espirituosamente confessou não ter subsunçores para compreender tantas categorizações filosóficas. Uma explicação ampla foi dada pela ministrante, e complementada pelos participantes A e, sobretudo, E, que defendeu que nem o realismo ontológico é sustentado logicamente, pautando-se nas críticas de Paul Feyerabend. A discussão seguinte, ao fim desta etapa, acerca das fronteiras entre valores extrínsecos e intrínsecos à ciência, gerou debates bastante interessantes. Por um lado, foram defendidas a inseparabilidade das naturezas dos valores. O participante E defendeu que a própria noção de valor mostra a influência de questões contextuais, mesmo nos valores cognitivos. O participante A, por outro lado, usou do exemplo da ciência de ponta para argumentar que, quando se trata de um corpo de

conhecimentos muito especializado, dificilmente questões contextuais seriam capazes de determinar os significados subjetivos ou intersubjetivos dos valores intrínsecos à ciência, como adequação empírica ou consistência. Essas questões, não contempladas na leitura base desta etapa, propiciaram um indicativo dos subsunçores dos participantes sobre o assunto. Observou-se estar ante um grupo de posições ontológicas, epistemológicas e sociológicas bastante idiossincráticas. Foi sugerido que os participantes preparassem um mapa conceitual sobre os temas abordados, para que pudesse ser apresentado no próximo encontro.

Encontro 3: Valores cognitivos e constitutivos – Segunda etapa de revisão, situação problema em nível mais alto de complexidade e nova etapa de aprofundamento do conhecimento (Participantes presentes: A, C, D, E)

No íterim que antecipou o encontro subsequente, como resultado de nova reunião entre a ministrante e o observador, foram enviados por meio de correio eletrônico o texto *A relação entre ciência e valores constitutivos como um novo horizonte para a pesquisa em educação científica* e um esquema conceitual a ele relativo (fig. 5.3). Os participantes foram convidados a utilizar o mapa recursivamente, durante a leitura do texto. Assim, no encontro seguinte, iniciou-se uma **segunda etapa de revisão**, com a apresentação dos mapas dos participantes C e D (os participantes A e E não produziram os mapas requisitados em tempo hábil para a apresentação). Com eles, retomaram-se os conceitos principais da etapa anterior, como o realismo científico crítico e o antirrealismo epistemológico, a noção de valor e sua visão normativa e realista, defendida por McMullin e a tentativa incipiente de resgate das noções de objetividade e racionalidade feita por Kuhn.

Após a apresentação dos mapas conceituais dos participantes C e D e a conseqüente revisão dos conceitos discutidos no encontro anterior, o esquema conceitual relativo aos conceitos dessa aula (fig. 5.3) foi reintroduzido, principiando-se uma nova etapa da unidade, na forma de uma **situação-problema em nível mais alto de complexidade**. Muitas questões foram levantadas pela ministrante: quais as limitações da visão realista do conhecimento? Os valores tipicamente externos à ciência podem influenciar na pesquisa científica? Que significados isso teria para as noções de objetividade e racionalidade de Kuhn e McMullin? É possível sistematizar racionalidade e objetividade com (ou afora) o fato de que cientistas fazem juízos de valor (típicos e atípicos da ciência)?

## Fissão Nuclear e Valores

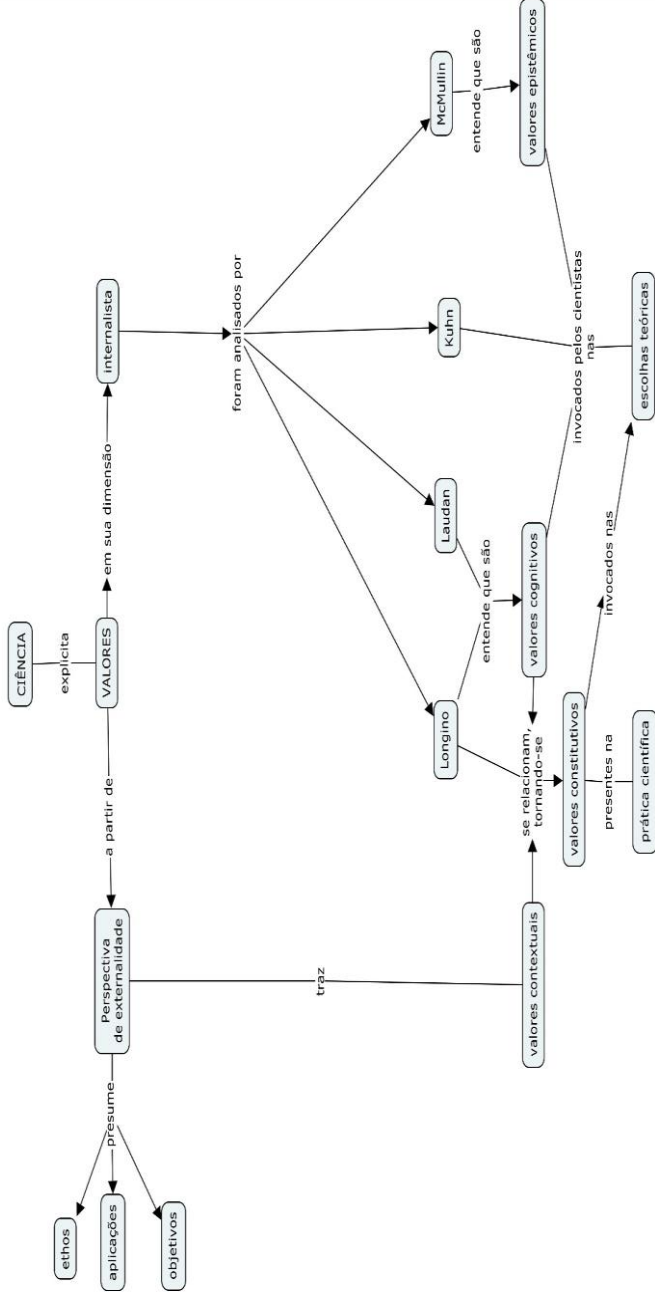


Figura 5.3: Esquema conceitual relativo ao segundo texto



As discussões que fecharam o encontro anterior mostraram, nos subsunçores dos participantes, a latência da discussão sobre a relação entre racionalidade, objetividade e juízos de valor (intrínsecos e extrínsecos à ciência) nas ideias lançadas por Kuhn e McMullin sobre o tema. Os primeiros posicionamentos em relação a esses questionamentos agora passaram a levantar características típicas das filosofias de Laudan e Longino, embora, como no encontro anterior, mantiveram-se bastante divergentes, especialmente em relação à valorização da racionalidade e da objetividade.

Nesta **nova etapa de aprofundamento do conhecimento**, buscando uma diferenciação progressiva, discutiram-se as questões fundamentais do texto base. Ambos filósofos partem da mesma insustentabilidade entre as perspectivas lógica e holista da ciência. Para Laudan (1984), os positivistas, em seu esforço em delinear a ciência de modo rígido, com suas metodologias de pesquisa e, sobretudo, justificação, eram incapazes de explicar como controvérsias intercorriam na ciência.

Ele mostra que o sistema hierárquico de justificação dos empiristas lógicos – em que problemas no nível fatural supostamente se resolvem metodologicamente, assim como problemas em nível metodológico se resolvem com o apelo aos valores e objetivos buscados pela ciência – não é apenas limitado em termos históricos e sociológicos, mas também logicamente. Para ele, não se pode esperar que a racionalidade da ciência esteja na aplicação de regras de níveis hierárquicos para a resolução de problemas, porque essas regras são insuficientes, como mostraram os holistas, para encerrar disputas científicas. Assim, ele reforma o sistema hierárquico de justificação, revisitando as três dimensões das argumentações científicas – fatural, metodológica e axiológica – e desenvolve o modelo triádico de justificação. Com ele, Laudan (1984) esforça-se para mostrar o que uma boa teoria da racionalidade, dentro de um paradigma antirrealista, pode esperar: que os cientistas busquem sistematicamente ajustar métodos, evidências e valores, gerando as teorias que melhor alcancem os objetivos da ciência naquele momento.

Longino (1990) também parte das lacunas deixadas por lógicos e holistas. Diferentemente de Laudan, no entanto, ela não busca reformar o sistema de justificação positivista. Sua preocupação é apontar o que de fato é comum à ciência historicamente: ela ser uma prática coletiva, intersubjetiva. Só assim, é possível compreender a que aspectos se pode asseverar objetividade à ciência: a intensa crítica intersubjetiva, defende a filósofa, é a única forma em que se pode garantir diferentes graus de

objetividade científica. Naturalmente, são necessárias condições para que a crítica se efetive de modo a eliminar preferências subjetivas da ciência, como igualdade de autoridade intelectual, padrões compartilhados e espaços reconhecidos para crítica (como conferências e periódicos). Nesses âmbitos, é possível determinar que juízos de valor mediaram a dinâmica entre hipóteses e teorias e construir, de fato, conhecimentos intersubjetivos.

Como no encontro anterior, a relação entre juízos de valor e racionalidade dividiu argumentos entre os participantes. Pelo fato de que Laudan reformula um construto positivista, os participantes C e E objetaram seu ponto de vista. Para C, o modelo reticulado de Laudan reforça a distinção entre contextos da descoberta e da justificativa; para E, é um modelo idealizado, que não condiz com a história da ciência. Mesmo o participante A, que, afora o antirrealismo, demonstrava grande adesão à filosofia do estadunidense, manifestou desconforto com o que entendeu ser uma demasiada normatividade no modelo triádico de justificação. O participante D ampliou a exigência do grupo de um subsídio histórico para as reflexões de Laudan. Os ministrantes apontaram que Laudan busca retomar os exemplos fornecidos de passagem por Kuhn (1973; 2009) para lançar sua própria interpretação, o que, para os participantes, não pareceu suficiente para a solidez empírica de sua filosofia.

A mesma reivindicação foi feita em relação à filosofia de Longino (1990), embora menos veementemente. Sobretudo o participante E indicava tentar compreender historicamente os apontamentos da filósofa, sem conseguir definir algum episódio da ciência de seu conhecimento que pudesse servir de aporte para as ideias de Longino. A ministrante destacou que, diferentemente de Laudan, Longino não busca desenvolver um modelo, mas apenas instrumentalizar a análise da história da ciência, de modo que se possam esclarecer os graus de objetividade de um determinado episódio. Ela busca ser diagnóstica, mas analítica em seus diagnósticos, acerca dos juízos mediadores da prática científica; seu objetivo, afinal de contas, é o de propor um relato da ciência capaz de mostrar o caráter lógico da intersubjetividade. Por este motivo, a filósofa não se furta em apresentar a crítica intersubjetiva como o método científico. Essa audácia de Longino não passou despercebida pelo grupo; mencionar um método científico, afinal, tem sua carga de negatividade, especialmente para a educação científica que vem há mais de duas décadas tentando desconstruir essa concepção.

Para os participantes C e D, essa escolha causou espanto, o que provocou a revisitação dos princípios norteadores da filosofia de Longino.

Diferentemente d'O Método Científico rígido, algorítmico, empirista ingênuo e ateu que ainda figura em livros didáticos, Longino fala de uma metodologia com base em sua análise da história. Para ela, o que sempre houve de comum e inescapável à ciência – apesar de toda a multiplicidade de formas como foi conduzida – foi a coletividade e a promoção, em maior ou menor grau, da crítica intersubjetiva. Por conseguinte, ela centraliza sua análise da ciência enquanto prática naquilo que ela determinou como a única metodologia factível da ciência.

Enquanto os participantes C e D demonstraram compreender a perspectiva de Longino, o participante E não se furtou em objetar essa definição. Ele questionava sobre essa metodologia capaz de ser uma boa delimitação da ciência; para ele, diversos coletivos, desde “uma conferência de técnicos de futebol” até a comunidade científica têm como premissa a crítica intersubjetiva. Assim, para ele, a intersubjetividade não é fator delimitador da ciência. A ministrante buscou mostrar que definir fronteiras entre a ciência e outras práticas não era o objetivo de Longino, mas explicar como este mecanismo, associado a outras características que cada comunidade científica pode demonstrar em maior ou menor medida, é o que pode elucidar o grau de objetividade atingido em cada momento da história da ciência. Além disso, a busca por um consenso, por um corpo teórico coeso e compartilhado, independentemente da heterogeneidade da comunidade, também é uma característica típica da ciência, mesmo não lhe sendo exclusiva.

Continuando com suas objeções, o participante E demonstrou-se drasticamente contrário à concepção de que a ciência seja um empreendimento mais bem-sucedido que outros. Para ele, há claras insuficiências na ciência enquanto prática, assim como em sua construção de conhecimentos. Os outros participantes, assim como a ministrante, defenderam que, apesar da evidente necessidade de uma posição crítica em relação à ciência, seu sucesso não pode ser questionado. Ademais, reiterou-se que Longino (1990) não se propõe a justificar a superioridade da ciência, mas de explicar seu relativo sucesso.

O sucesso, aliás, foi outra questão bastante debatida. Para o participante E, qualquer *whiggismo* é injustificável na filosofia da ciência; assim, ele demandou da ministrante uma posição acerca das formas como Laudan e Longino argumentam que se possa mensurar o progresso científico. A ministrante defendeu, conforme Longino, que, justamente em razão de a ciência ser inescapavelmente permeada por valores contextuais, apenas olhares anacrônicos podem determinar se houve, em determinado momento histórico, um alcance dos objetivos e valores esperados pela ciência. Aviltantes episódios da história da ciência, como

os grandes estudos eugênicos da primeira metade do século XX, podem até ser vistos como bem-sucedidos dentro de uma perspectiva unicamente cognitiva. A capacidade de detectar os valores contextuais (neste caso, de diferenças raciais) que influenciaram a prática científica envolve a premissa de que não há diferenças de inteligência ou capacidade de trabalho entre as variadas etnias humanas – um pressuposto contextual da atualidade. É, portanto, uma visão anacrônica da ciência que pode julgar as teorias eugênicas e repelir novas investigações com bases semelhantes. O participante E, desde uma perspectiva relativista, se manteve firme em relação à necessidade de crítica a todo e qualquer *whiggismo*.

Com a finalização deste encontro, pediu-se que os participantes construíssem, antes do encontro seguinte, um mapa conceitual com as ideias de Laudan e Longino, a serem apresentados no encontro seguinte. Posteriormente ao encontro, em reunião entre a ministrante e o observador, ficou decidido que os mapas e esquemas conceituais se concentrariam apenas em relação às etapas filosóficas do curso, em virtude do esforço exigido por eles e permitindo tempo hábil para que os participantes pudessem começar a pensar em suas unidades com mais profundidade.

Encontro 4: Juízos de valor na gênese da fissão nuclear - terceira etapa de revisão e aprofundamento com situação histórica) (Alunos presentes: A, C, D, E)

Os mapas conceituais confeccionados pelos participantes C, D e E foram apresentados pelos próprios elaboradores, relativos às filosofias de Laudan e Longino, foram apresentados ao início do encontro seguinte, marcando, com isso, **mais uma etapa de revisão**, em que os conceitos de valores, realismo, objetividade e racionalidade foram rediscutidos conforme os participantes discorriam sobre suas ligações conceituais. Na sequência, iniciou-se uma etapa de **aprofundamento de conhecimentos com situação histórica**, que se estendeu por dois encontros.

A primeira situação histórica, explorada no mesmo encontro que a etapa de revisão, fundamentou-se no texto *Ciência e valores na descoberta dos primeiros elementos transurânicos*. Nele, explora-se a primeira ‘descoberta’ dos elementos transurânicos, em 1934, logo após as descobertas do nêutron e da radioatividade induzida. À exemplo do que Irène e Frédéric Joliot-Curie vinham fazendo – provocando a radioatividade artificial em átomos de tamanho médio, a partir da irradiação de partículas alfa – o grupo romano liderado por Enrico Fermi passou também a irradiar diversos elementos com nêutrons, buscando entender se eram capazes de torna-los artificialmente radioativos. O

recém descoberto nêutron não havia sido considerado por outros grupos porque sua disponibilidade era muito pequena; o que motivou os italianos a usá-lo como projétil, no entanto, era sua capacidade de penetração em átomos de grandes números atômico, por ter carga elétrica neutra, o que de fato ocorreu. Houve a produção de diversos elementos artificialmente radioativos, que decaíam em famílias de difícil discernimento, mas que estavam sendo classificadas pelos italianos.

Ao bombardear elementos de grandes números atômicos, como o tório e o urânio, distinguir as séries era especialmente difícil. Com o auxílio de variados métodos da radioquímica e baseados na química conhecida da época (que ainda não considerava os elementos actinídeos como parte de seu cânone e, por conseguinte, classificava o actinídeo, o tório e o urânio como elementos de transição), os italianos concluíram possivelmente ter produzido os primeiros elementos transurânicos. Para eles, um dos decaimentos sofrido pelo urânio pela captura de um nêutron térmico resultava, com a emissão de um elétron, em um elemento de maior número atômico.

O primeiro artigo do grupo foi recebido entusiasmadamente pela comunidade de químicos e físicos nucleares, rendendo novas publicações nos anos de 1934 e 1935 – e o batismo. Entretanto, poucos meses após o primeiro trabalho, a química analítica alemã Ida Noddack escreveu um artigo atentando para diversos problemas de ordem metodológica e teórica que levaram às conclusões, segundo ela, fracas, de que se produziram transurânicos nas pesquisas italianas. Ela conclui, com suas objeções, que era igualmente possível que se tivesse provocado uma grande quebra dos núcleos irradiados, produzindo elementos de número atômico médio. Apesar de contundente, suas objeções foram pouco investigadas e sua conjectura sequer foi considerada. A fissão nuclear foi descoberta apenas cinco anos após a sugestão de Noddack, por Lise Meitner, Otto Hahn, Fritz Strassmann e Otto Frisch.

O texto sobre este episódio busca mostrar os valores envolvidos na escolha teórica feita pela comunidade. A subdeterminação das teorias pelas evidências explicita a negociação de valores necessárias em momentos como este. Assim, em termos cognitivos, a hipótese da produção de transurânicos foi julgada pela comunidade como adequada empiricamente e consistente com os conhecimentos assentados da radioquímica e da física nuclear. Entretanto, Noddack mostrou que eles tinham problemas de precisão se considerados em relação à química analítica, com a qual também não eram consistentes. Adequação empírica e consistência, como mostra Kuhn, não são regras, mas valores; suas

concepções dependem de quem os julga e precisam ser negociadas na comunidade científica.

Neste caso histórico, como é possível notar, a sugestão de Noddack foi amplamente negligenciada pelos radioquímicos e físicos nucleares – a escolha teórica sequer foi negociada, apesar de ser rica em valores cognitivos como coerência com a química analítica, alcance e precisão. Há uma série de fatores contextuais que podem ajudar a explicar, em conjunto com os valores cognitivos da precisão e da coerência, a razão da negligência da comunidade. Questões políticas (Noddack era simpatizante do nazismo), questões de gênero (era mulher em uma ciência predominantemente masculina) e uma reputação científica manchada (ela e seu marido Walter Noddack declararam, anos antes, ter descoberto o elemento de  $Z=43$ , mas não haviam fornecido evidências para esta descoberta) são alguns fatores que podem ter influenciado a negligência às objeções e sugestões da química analítica. No texto dado aos participantes, eles são explorados sob a ótica da filosofia de Longino, considerando as consequências da insuficiência da crítica intersubjetiva para a objetividade da ciência neste episódio.

Apesar de ser uma etapa voltada especialmente para a história da ciência, os participantes mantiveram vivas as discussões acerca da relação entre ciência e valores e os conceitos subjacentes discutidos nos dois encontros anteriores de realismo, antirrealismo, valores cognitivos e objetividade, evidenciando as reconciliações integrativas de cada participante. Os participantes C e E explicaram ter buscado articular as teses de Laudan e Longino com o tema histórico discutido naquele texto, mas demonstraram dificuldades em compreender onde suas filosofias se encaixavam. O episódio, de fato, não centrava as discussões trazidas por Laudan, e a ministrante procurou deixar claro que a rede triádica de justificação seria mais profundamente discutida na aula seguinte. A história da descoberta dos primeiros elementos transurânicos, especialmente se considerada a participação de Ida Noddack, é um exemplo claro de como funcionam escolhas teóricas (e as consequentes negociações de valores cognitivos e contextuais) dentro de um quadro de subdeterminação de teorias por evidências; por esse motivo, focou nas proposições filosóficas de Kuhn e Longino.

Para o participante E, ademais, o próprio texto era uma demonstração de que a tese de Longino não funciona. Na história da primeira descoberta dos elementos transurânicos, não existiu objetividade, pois não houve circulação de conhecimento e, portanto, crítica intersubjetiva. Foi discutido, a exemplo da aula anterior, que a intenção de Longino é a de mostrar os graus de objetividade que uma

determinada comunidade pode ter e os efeitos cognitivos da falta de intersubjetividade, algo explícito no episódio. Os físicos e químicos nucleares não buscaram a crítica intersubjetiva naquele ano de 1934 por uma série de razões e isso teve impacto no conhecimento que foi produzido, como bem consegue mostrar Longino. Para a filósofa, a objetividade não é algo que exista por si só na ciência, mas algo que uma determinada comunidade pode se propor a buscar, ao se permitir ser crítica e heterogênea, o que no caso da ciência nuclear de 1934, não foi em relação a Ida Noddack.

Questões meramente históricas foram bastante escassas, com exceção da dúvida apontada pelos participantes A e D acerca dos motivos da negligência de Fermi sobre Noddack. Discutiui-se sobre as possibilidades já aventadas pelos historiadores, de naturezas cognitivas, políticas e sociais; argumentou-se também que as fontes históricas que subsidiam tais questões são limitadas a certos relatos, como os de Emilio Segré, Otto Frisch e Luiz Alvarez, feitos muitos anos após a descoberta da fissão nuclear. O passado e a história são coisas diferentes e, mesmo para a história da ciência, a subdeterminação dos relatos históricos pelas evidências é um ponto inescapável.

Em reunião posterior, ministrante e observador reiteraram o interessante fato de que os participantes se ativeram às discussões filosóficas, dando menos atenção às questões históricas. Para o encontro seguinte, ficou decidido buscar envolver mais os participantes nas questões históricas, a fim de proporcionar ainda mais a diferenciação progressiva dos conceitos filosóficos, especialmente ao participante D, com vistas também à unidade de ensino proposta como atividade avaliativa final.

Encontro 5: Juízos de valor na gênese da fissão nuclear – Terceira etapa de revisão e aprofundamento com situação histórica – continuação da aula anterior (Alunos presentes: A, C, D, E)

O quinto encontro caracterizou-se pela continuação da etapa de aprofundamento de conhecimento com situação histórica, centrada, desta vez, na história das pesquisas que levaram à descoberta da fissão nuclear. Entre os encontros, os participantes fizeram a leitura do texto *Valores, Métodos e Evidências: Racionalidade e Objetividade na Descoberta da Fissão Nuclear*. Neste texto, explica-se a entrada de Otto Hahn e Lise Meitner nas pesquisas sobre irradiação de urânio com nêutrons; parceiros há três décadas, eles eram referência na radioquímica. Passaram alguns anos tentando discernir as séries de decaimento provocadas pela irradiação do urânio com nêutrons térmicos. Apesar das anomalias,

acumulavam-se evidências empíricas e teóricas de que se produziam elementos transurânicos naquelas reações.

Com o vertiginoso crescimento do nazismo na Alemanha, Meitner, que tinha ascendência judia, precisou fugir e se exilou na Suécia; na mesma época, Hahn e Fritz Strassmann, que há pouco se juntara à equipe, passaram a investigar uma série de decaimento iniciada pela equipe francesa de Irène Joliot-Curie, em que se detectava o lantânio, um elemento de número atômico médio, entre os produtos do decaimento. Trocando cartas, Meitner forneceu subsídios teóricos às investigações executadas por Hahn e Strassmann; essa intensa troca, envolvendo a heterogeneidade disciplinar do grupo, permitiu com que eles efetivassem uma harmonização entre valores, métodos e evidências, mesmo diante de tantas necessidades de rupturas conceituais e axiológicas. Essa é a característica essencial da rede triádica de justificação, desenvolvida por Laudan (1984) para explicar como é possível entender a racionalidade da ciência apesar da subdeterminação das teorias pelas evidências, e dos métodos pelos valores.

Além de uma discussão sobre racionalidade, o texto faz uma reflexão acerca do papel da crítica intersubjetiva para a descoberta da fissão nuclear. A igualdade de autoridade intelectual entre os quatro cientistas e a abertura à crítica foi o que permitiu que eles explorassem mudanças axiológicas e metodológicas, diferentemente do que ocorrera cinco anos antes, com o descaso às contestações de Ida Noddack. Seguramente, esse foi um fator importante; quando química e física, sozinhas, não conseguiriam resolver satisfatoriamente o problema dos decaimentos. A intensa intersubjetividade permitiu aliar as perspectivas, facultando uma abordagem interdisciplinar ao problema. Essa função cognitiva da intersubjetividade é explorada por Longino (1990) e apontada no texto, que esclarece que, com a descoberta da fissão nuclear, tornaram-se elusivos mais uma vez os elementos transurânicos.

Como os filósofos centrais desta parte da análise histórica foram Longino e Laudan, mais uma vez as insuficiências da tese deste último foram apontadas. Para o participante C, o argumento de Laudan se demonstra circular: seu conceito de racionalidade é alimentado pelo seu modelo triádico de justificação que, por sua vez, resulta em racionalidade. Além disso, o fato de seu modelo ser uma reforma de um construto filosófico positivista, para o participante, tem claras limitações, o que a análise histórica em discussão mostra. Nesta posição, o participante C foi secundado pelo participante E. Para eles, o fato de os autores do texto buscarem complementar a análise com as posições de Longino são evidências das insuficiências da rede de justificação de Laudan. Os



participantes A e D não demonstraram maiores problemas com as ideias de expostas no texto; a participante A reiterou concordância com as ideias de Laudan, apesar da posição ontológica desta autora.

Em posterior reunião entre a ministrante e o observador, foi feita uma análise preliminar dos resultados obtidos com a unidade até este ponto. Ponderou-se as diferenças de posições epistemológicas entre os participantes e como isso se mostrou nas reuniões. De fato, houve momentos de grande discordância entre os participantes; o tema histórico, apesar de suscitar um amplo interesse, foi ofuscado pelo tema filosófico, de profundo interesse de todos. Em virtude do esforço demandado durante o curso com as leituras e os esquemas conceituais, decidiu-se postergar o encontro seguinte em duas semanas, propiciando tempo hábil para que os participantes pudessem elaborar suas unidades. Decidiu-se também que os interessados poderiam enviar suas unidades preliminares antes do prazo, para aprofundamentos com a ministrante, o que foi comunicado a todos por meio de correio eletrônico.

Encontro 6: Didatização do tema filosófico – Atividade integradora avaliativa (Participantes presentes: A, C, D, E)

Com o fim desta etapa, que perdurou por dois encontros, iniciou-se uma **atividade integradora avaliativa**, com a socialização da versão preliminar das UEPS desenvolvidas por eles ao longo do curso. O participante A apresentou uma unidade de ensino voltada para o aluno do curso de Licenciatura em Física, em uma disciplina de História e Epistemologia da Ciência I (disciplina da 2ª fase, na Universidade Federal da Fronteira Sul). Nesta disciplina, tipicamente se apresentam as insuficiências da concepção empírico-indutivista e ateórica da ciência. Assim, o participante esclareceu que sua unidade, apesar de ainda em forma bastante preliminar, buscava envolver a relação entre ciência e valores no trabalho de Galileu – desmistificando o caráter genial e empírico-indutivista e ateórico geralmente envolvido em suas descrições midiáticas e mostrando o papel desempenhado pelos valores contextuais na prática de Galileu (sobretudo em relação ao prefácio de sua obra *O Mensageiro das Estrelas*). Foi argumentado que, além dos valores contextuais, seria interessante caracterizar a própria concepção positivista da ciência por meio da relação entre ciência e valores; afinal, o que os positivistas defendiam como regras da ciência e critérios da escolha teórica são atualmente considerados valores da prática científica – sugestões bem acolhidas pelo participante A.

O participante C, por sua vez, apresentou uma unidade em estágio bastante avançado, centrada no episódio histórico da gênese da

controvérsia entre Galvani e Volta acerca da eletricidade animal. Destinada a alunos de uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física (tipicamente oferecida aos alunos de 8ª fase na Universidade Federal de Santa Catarina), é uma unidade que tem como pré-requisitos os conhecimentos sobre eletricidade e discussões sobre a história da ciência. Com base nas ideias de Kuhn, a UEPS busca ressaltar certos valores determinantes para a escolha teórica e investigativa de Galvani, apoiada em textos especialmente desenvolvidos para a UEPS e a análise de materiais audiovisuais. A primeira etapa da UEPS foi questionada pelos demais participantes, por não envolver, de algum modo, a investigação dos subsunçores dos alunos e a apresentação de algum organizador prévio para gerar uma situação-problema inicial. Após a argumentação, o participante compreendeu as questões levantadas e apontou que modificaria a primeira etapa de modo a propiciar um momento de problematização inicial.

Baseado na história do contexto de aceitação e corroboração da Teoria da Relatividade Geral, a UEPS apresentada pelo participante D tinha o objetivo de associar à história da ciência diversos valores de natureza cognitiva e contextual. Destinada a alunos de 3º ano de ensino médio, a unidade seria composta pela leitura de textos, discussões em grupo, análise de materiais audiovisuais e a produção de mapas conceituais. Os participantes questionaram a quantidade de atividades programadas, assim como a multiplicidade de valores envolvidos na UEPS. Indicaram a possibilidade de enxugar a proposta e fundamentar as ações e análises em relação a alguma das referências epistemológicas trabalhadas ao longo do curso. A extensão da unidade também foi questionada, buscando encontrar uma viabilidade real para sua aplicação em um contexto de ensino médio.

Outra unidade desenvolvida em estágio bastante avançado foi apresentada pelo participante E. Amparada no próprio episódio da descoberta da fissão nuclear, essa UEPS tem por objetivo problematizar os valores/ideais de ciência da objetividade e da racionalidade, confrontando as visões de Longino e Laudan com a de Paul Feyerabend. A análise e discussão de três artigos e um material audiovisual compunha a unidade, voltada para uma disciplina de História e Filosofia da Ciência tipicamente ofertada na 7ª fase dos cursos de Licenciatura em Física de dois campi do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Poucas sugestões foram feitas pelo grupo em relação a unidade do participante E, em razão de seu estágio avançado e estruturação em conformidade com os princípios da aprendizagem significativa.

Nos seis encontros presenciais, foram implementadas dez etapas da unidade em grande grupo. A avaliação da aprendizagem dos participantes ocorreu concomitantemente a essas etapas, com a análise dos mapas conceituais feitos por eles nos segundo e terceiro encontros, assim como em relação às discussões. Além disso, as próprias UEPS desenvolvidas também forneceram indícios de aprendizagem. Esses materiais – mapas conceituais e UEPS – e, portanto, a aprendizagem dos alunos, serão avaliados nas próximas seções.

#### 5.4 MAPAS CONCEITUAIS SOBRE A RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E VALORES

A UEPS “Fissão Nuclear e Valores” tinha por objetivo promover a discussão sobre ciência e valores e a reflexão sobre as possibilidades para a educação científica. Em consonância com este objetivo, foi escolhida como avaliação somativa individual final o desenvolvimento de uma unidade de ensino potencialmente significativa. Entretanto, considerando que a aprendizagem significativa é um processo, as observações individuais acima descritas foram essenciais para a compreensão da evolução dos participantes e a avaliação de suas aprendizagens. Para aprimorar o processo avaliativo, foi solicitada a elaboração de mapas conceituais relativos ao segmento epistemológico da unidade, de modo a se ter uma ideia mais clara acerca das relações conceituais feitas por eles. Em razão de mapas conceituais serem construtos muito pessoais, após a entrega dos esquemas dos participantes, foram feitas reuniões individuais com cada um deles, de modo oportunizar uma explicação mais clara das relações cognitivas neles ilustradas.

Importa ressaltar que, antes das discussões epistemológicas realizadas nos segundo e terceiro encontros, foram oferecidos dois mapas juntamente ao material de leitura correspondente; a intenção, na proposição da UEPS, era de que os participantes os utilizassem como organizadores prévios, mas também recursivamente, durante a leitura e depois, confrontando entendimentos. Conforme a TAS, mapas conceituais são construtos bastante pessoais, que apontam aspectos da estrutura cognitiva de um determinado sujeito; para que sejam compreensivas a outras pessoas, é necessário que sejam apresentados e comentados pelo próprio formulador, evidenciando o raciocínio subjacente as conexões conceituais. Considerando essa peculiaridade, os mapas iniciais fornecidos pela ministrante aos participantes eram bastante amplos, revelando poucos (mas importantes) conceitos mobilizados na

leitura. Ao propor que confeccionassem os próprios mapas, abriu-se a possibilidade de que enriquecessem esses mapas com os conceitos que achassem pertinentes.

Analisando o esquema elaborado pelo participante C relativo à leitura do texto *Valores e valores epistêmicos: contribuições axiológicas para a discussão da essência do conhecimento na educação científica*, que explora as perspectivas para ciência e valores de Thomas Kuhn e Ernan McMullin, observa-se a tendência de seguir, dentro de alguns limites, a organização do mapa fornecido. O mapa inicial, deste participante (fig. 5.4) manteve uma estrutura parecida, dividindo a concepção positivista para os valores na ciência e as concepções de Kuhn e McMullin. Azul e verde foram escolhidos para discernir determinados conceitos. Fica claro que o participante compreendeu a natureza externalista da aceitação de valores na ciência dentro do paradigma do positivismo lógico.

Esse participante manifesta compreender a narrativa do texto ao buscar situar no tempo as duas extremidades horizontais do mapa no que concerne ao sentido de valores como características que podem ser buscadas pela prática e no conhecimento científicos e ao mesmo tempo escolheu um espaço central e neutro para trazer os outros entendimentos dos valores abordados no texto (objetivos, *ethos* e aplicações da ciência). Referentemente às ideias de Kuhn e McMullin, o participante caracterizou suas posturas ontológicas, além de trazer as terminologias dos valores por eles enumerados. Interessantemente, ele apresenta, conectado aos valores como conceitos, seus significados para os dois filósofos, em cinza claro; com a mesma cor, usa os conceitos de Kuhn entre parênteses como uma segunda palavra de ligação para os valores de McMullin. O participante C ainda traz algumas questões filosóficas trabalhadas por Kuhn na obra analisada, como a invariância de valor, a subjetividade e a comunicação parcial, com explicações sucintas destes conceitos, novamente em cinza claro.

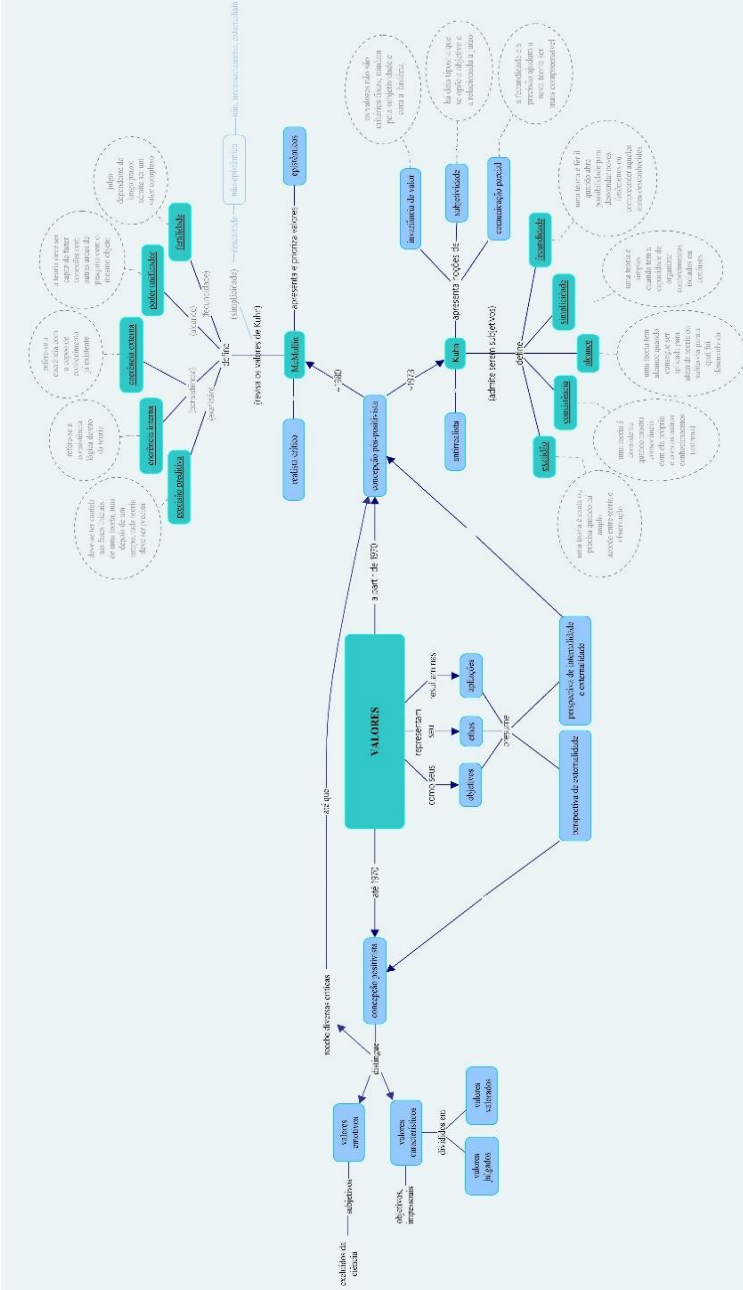


Fig. 5.4: Mapa conceptual relativo a Kuhn e McMullin, participante C

Este mapa do participante C demonstra sua boa compreensão das questões essenciais do texto. Não há qualquer ligação equivocada problemática, apesar das dificuldades em produzir um mapa conceitual estritamente dentro dos paradigmas da TAS.

Assim como o participante C, que tinha conhecimento da TAS, mas pouco envolvimento com a elaboração de mapas conceituais, o participante D também, fez suas primeiras incursões neste instrumento heurístico durante a unidade. Mapas conceituais são uma espécie de linguagem nova, que exige familiaridade e prática, o que justifica, portanto, a estrutura reativamente incipiente da estruturação dos conceitos por esse participante (fig. 5.5).

É possível notar um bom entendimento, em linhas gerais, das discussões acerca das visões de Kuhn e McMullin, através do mapa do participante D. As relações entre realismo e antirrealismo, por exemplo, são frisadas, assim como a natureza dos valores. Além disso, este participante apresenta algumas relações com a educação científica, discutidos também no artigo. Alguns pontos se sobressaem no mapa, como a associação dos valores epistêmicos de McMullin à qualificação de contemplativos e pragmáticos. Esses adjetivos, entretanto, são usados pelo filósofo para descrever os valores quando concebidos como objetivos amplos da ciência, ou seja, a ciência como busca para compreender o mundo (contemplativo) ou como esforço para manipulá-lo (pragmático). Os valores epistêmicos são, para ele, valores que os cientistas buscam nas teorias científicas e que levam a uma visão realista crítica da ciência.

Em reunião específica com o participante D, o conceito *axiológico* foi questionado em razão de sua ligação a (valores) internalistas e externalistas. Para o participante, as perspectivas externalista e internalista compõe o domínio axiológico, ponto central das perspectivas de Kuhn e McMullin. Outro ponto tratado foi o da relação entre os conceitos *educação científica* e *realismo ingênuo*, com a palavra de ligação maioria. Sobre isso, o participante alegou compreender, a partir do texto, que na pesquisa em educação científica busca-se erodir a concepção realista ingênua da ciência, em consonância com os diálogos realizados durante os encontros.

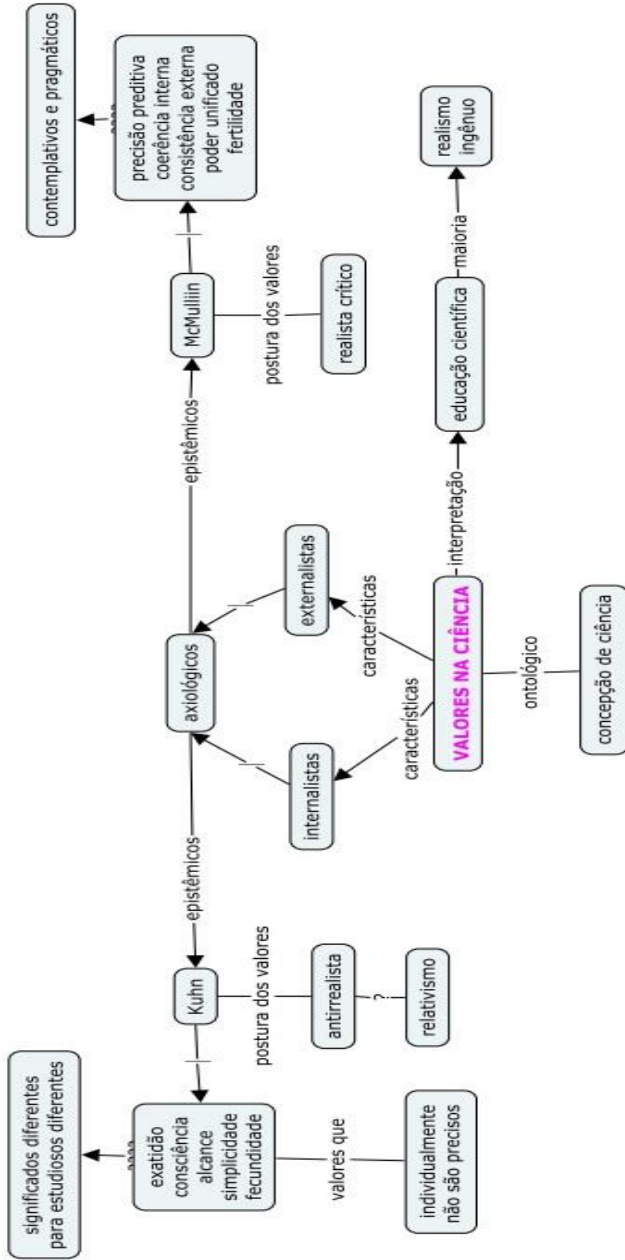


Fig. 5.5: Mapa conceitual relativo a Kuhn e McMullin, participante D

Algumas concepções exploradas no texto e no encontro, como a articulação do entendimento dos juízos de valor para Kuhn e sua filosofia da ciência e a justificação realista de McMullin para a classificação dos valores na escolha teórica como epistêmicos, não foram exploradas no mapa. Questionado sobre determinados tópicos, o participante demonstrou ter assimilado tais associações; explicou, no entanto, que a não exposição dessas discussões foi causada pela dificuldade de elaboração do mapa conceitual.

Diferentemente dos participantes C e D, em suas investigações e ações didáticas, os participantes A e E já vinham se referenciando na TAS, o que se reflete em seus mapas conceituais. Em ambos os mapas, em virtude da riqueza de conceitos e ligações, os mapas são bastante ilustrativos da compreensão dos participantes. O participante A usou cores para especificar estruturas conceituais próprias de cada filósofo, aspectos comuns aos dois e considerações gerais sobre o texto em seu mapa (fig. 5.6). É, efetivamente, um mapa conceitual que busca evidenciar relações bastante ricas. Nota-se, por exemplo, sua preocupação em mostrar as diferentes maneiras pelas quais Kuhn e McMullin procuraram amenizar o relativismo acarretado pelo reconhecimento da onipresença de juízos de valor na ciência (em laranja, “valores são transmitidos no treinamento de cientistas, que fazem juízos de valor, que remetem à subjetividade, que é amenizada pela comunidade científica”).

Além de sistematizar esses conceitos, o participante A adicionou, assim como o participante C, um encadeamento relativo à questão da variância de valores ao longo da história da ciência, uma discussão feita por Thomas Kuhn no intento de associar os juízos de valor às suas revoluções científicas. Além disso, usou conceitos para qualificar os valores listados por ambos filósofos, sem relacioná-los ao fato de que a lista de McMullin é uma revisão dos valores enumerados por Kuhn – o que, apesar disso, não demonstra dificuldades sobre o tema.

Um interessante aspecto que emerge do mapa conceitual do participante A é o vínculo feito entre “valores usualmente associados a objetivos da ciência, um dos quais a precisão empírica”, no entendimento de que os objetivos da ciência, em uma concepção pragmática, envolvem a adequação empírica. O que torna essa asserção curiosa é o fato de que ela não pode prescindir de um vínculo de natureza ontológica.





Naturalmente, os significados de pragmatismo e adequação empírica são distintos para Kuhn, um antirrealista, e McMullin, um realista crítico. Durante a primeira etapa de aprofundamento de conhecimentos, no segundo encontro de discussão do texto, o participante A argumentara que classificar Kuhn e McMullin em termos de suas concepções de essência do conhecimento científico não era necessariamente algo imprescindível para a compreensão de suas filosofias. Essa posição se reflete no mapa conceitual, onde não há menções sobre as questões ontológicas da ciência, mesmo com a abertura possibilitada pela ligação entre *objetivos* e *precisão empírica*.

Ainda em relação ao texto *Valores e valores epistêmicos: contribuições axiológicas para a discussão da essência do conhecimento na educação científica*, o participante E preferiu elaborar um mapa conceitual para cada filósofo. No mapa relativo a Thomas Kuhn (fig. 5.7), foi inserido uma breve contextualização conceitual sobre os filósofos que vêm pensando a relação entre ciência e valores. Os conceitos relativos às ideias de Thomas Kuhn foram apresentados em vermelho. Aborda de maneira sucinta e com boas ligações as relações propostas por Kuhn, desde a descrição da concepção de valores, seu foco nos momentos de escolha teórica, as questões da subjetividade, da comunicação parcial e da variância de valores e a defesa do filósofo da objetividade da ciência como o resultado das negociações entre cientistas.

Semelhantemente ao primeiro, a constituição do segundo mapa (fig. 5.8) explicita uma compreensão geral bastante satisfatória dos aspectos da tese de McMullin. O participante E frisa a objetividade tradicional defendida pelo filósofo e a sua postura ontológica, apresentando inclusive o argumento lógico da retrodução, muito utilizado por realistas críticos. Para descrever os valores enumerados por McMullin, o participante E prefere usar a terminologia kuhniana, precedida pela ligação “revisa os cinco valores característicos de uma boa teoria de Kuhn”, em vez daquela utilizada por McMullin. O texto busca mostrar que as distinções terminológicas têm razão dentro dos paradigmas filosóficos de ambos os filósofos, o que não é articulado pelo participante E em seus mapas, possivelmente em virtude de sua opção por confeccionar um para cada filósofo.

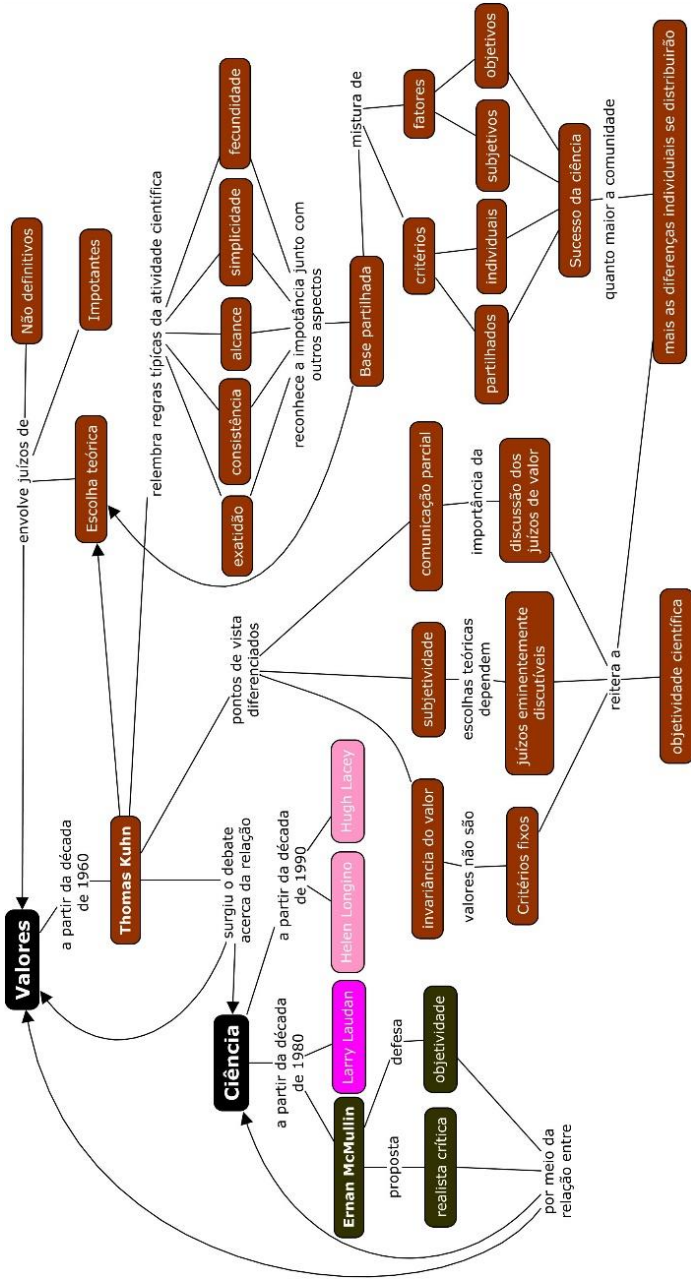


Fig. 5.7: Mapa conceitual relativo às ideias de Thomas Kuhn, participante E

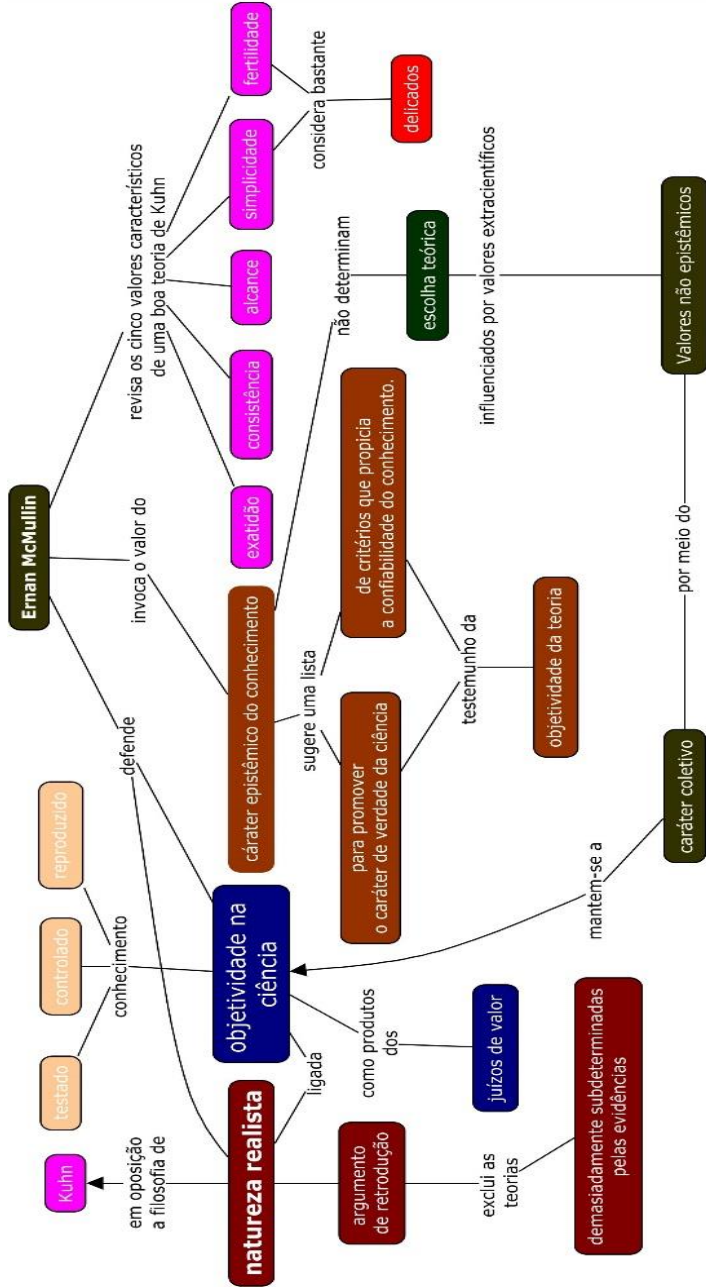


Fig. 5.8: Mapa conceitual relativo às ideias de McMullin, participante E

Na segunda etapa de aprofundamento de conhecimentos, ocorrida no terceiro encontro, os participantes leram e discutiram o texto *A relação entre ciência e valores constitutivos como um novo horizonte para a pesquisa em educação científica* e sobre ele também produziram mapas ou esquemas conceituais. Assim como em seu primeiro mapa, o participante A apresentou um rico encadeamento de conceitos (fig. 5.9). Parte do conceito mais inclusivo *Atividade Científica* – um marco fundamental para compreender as teses de Laudan e, sobretudo, Longino. Em verde, foram mapeados os conceitos relativos à filosofia de Laudan; percebe-se que o participante buscou evidenciar conceitos da tese de Laudan presente em *O Progresso e seus Problemas* (LAUDAN, 2011), ao qual *Science and Values* (LAUDAN, 1984) é uma forma de continuação, mas que não foram trabalhadas durante a unidade. Ademais, introduz a problemática essencial para o filósofo, relativa aos períodos de formação de consenso e um detalhamento da compreensão acerca dos valores cognitivos. Dos conceitos-chave na rede triádica de justificação – métodos, teorias e objetivos – apenas *métodos* se encontra no mapa. Para Laudan (1984), a racionalidade da ciência depende justamente da capacidade dos cientistas de harmonizar essas três dimensões do conhecimento científico. O conceito racionalidade no mapa, contudo, não demonstra ligação com a palavra método. Apesar deste pequeno problema, resultado da omissão do sistema de justificação, os conceitos referentes a *Science and Values*, os outros conceitos encadeados demonstram compreensão do posicionamento do filósofo em relação aos valores cognitivos.

Em cinza, o participante A mapeou os conceitos relativos à filosofia de Helen Longino, conseguindo abordar o espectro de relações feitas pela filósofa. Publicidade, intersubjetividade, objetividade, padrões compartilhados, igualdade de autoridade intelectual são essenciais na tese analisada e se encontram muito bem encadeados. Longino, ao discernir os diferentes tipos de crítica pertinentes à prática científica na circulação de conhecimentos produzidos, define um tipo de crítica conceitual como um dos mais importantes para a efetivação da intersubjetividade, por conseguir apontar preferências subjetivas ou contextuais na prática da ciência: críticas quanto à relevância das evidências em relação à hipótese que supostamente sustenta. O participante A, no entanto, ligou as críticas sobre evidências a esta característica da intersubjetividade. Apesar deste pequeno equívoco, o mapeamento de conceitos relativos à filosofia de Longino é bastante rico e bem estruturado, demonstrando clareza por parte do participante.

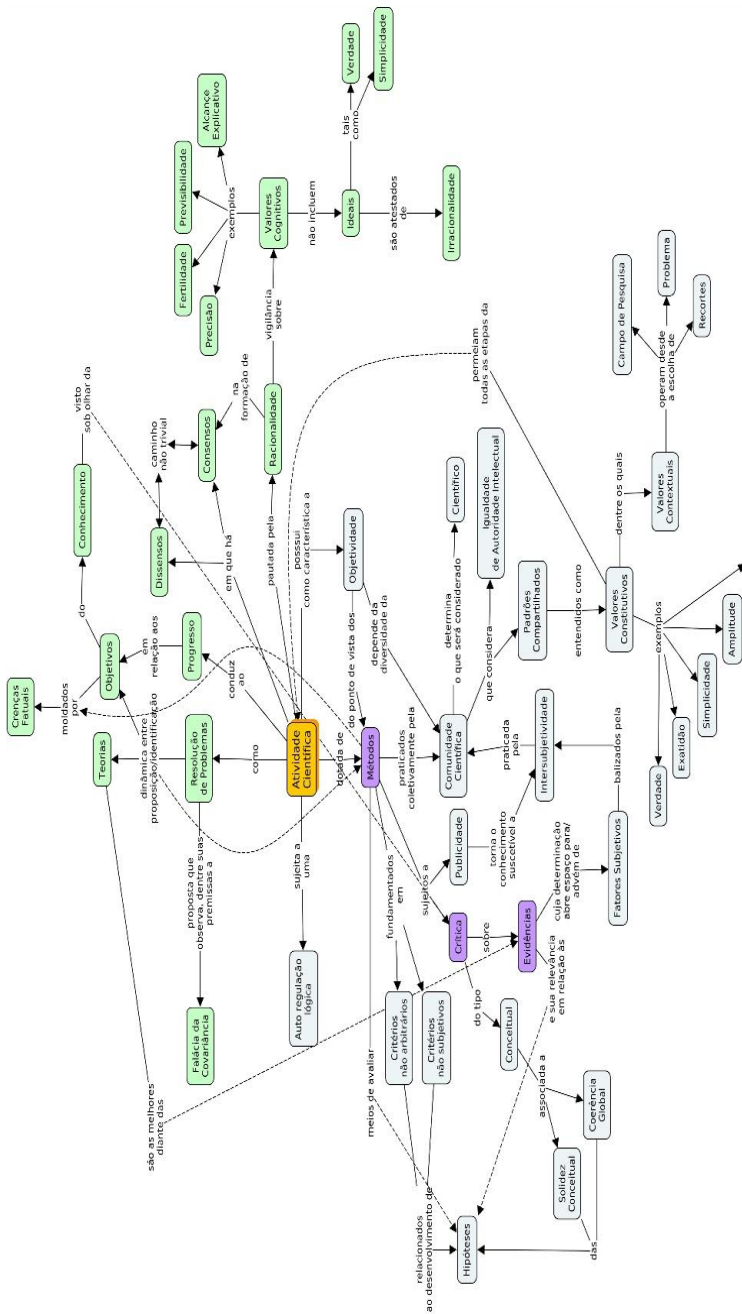


Fig. 5.9: Mapa conceitual relativo a Laudan e Longino, participante A

O participante D demonstrou uma grande melhora na construção de esquemas conceituais (fig. 5.10). À esquerda de seu mapa, buscou encadear as ideias relativas à filosofia de Larry Laudan. Aponta que essas ideias foram construídas em crítica ao positivismo e à obra de Thomas Kuhn, buscando refletir sobre a racionalidade da ciência. Ele também descreve o modelo reticulado de justificação de Laudan e destaca a problemática central para o filósofo, que é a dinâmica entre controvérsia e consenso na ciência. À direita, ele focaliza as noções mobilizadas por Helen Longino: o caráter coletivo da ciência, a importância de sua heterogeneidade para a objetividade e o papel da intersubjetividade para a destituição da ciência de potenciais preferências subjetivas, confrontando as dimensões lógica e sociológica da ciência. Ao meio, ele buscou mostrar uma ligação entre Laudan e Longino, enfatizando suas posturas antirrealistas.

Há uma pequena incorreção sobre o nome da filósofa em análise (Ellen Longino) e alguns equívocos filosóficos no mapa, como a asserção de que Laudan propôs o modelo hierárquico de valores (efetivamente, o filósofo reformou este modelo positivista). Ademais, uma ligação problemática leva à inferência de que o participante D entende que, para Laudan, havendo consenso fatural, há necessariamente consenso axiológico (o que, verdadeiramente, ele busca falsificar em termos lógicos). Em reunião particular com a apresentação do esquema, entretanto, o participante afirmou que buscava unicamente trazer uma posição de oposição à de Laudan, o que de fato não conseguiu em virtude de dificuldades de operacionalização de esquemas como este. De todo modo, em linhas gerais, é possível notar uma boa compreensão do tema, sobretudo no concernente à ciência como prática científica de Helen Longino.

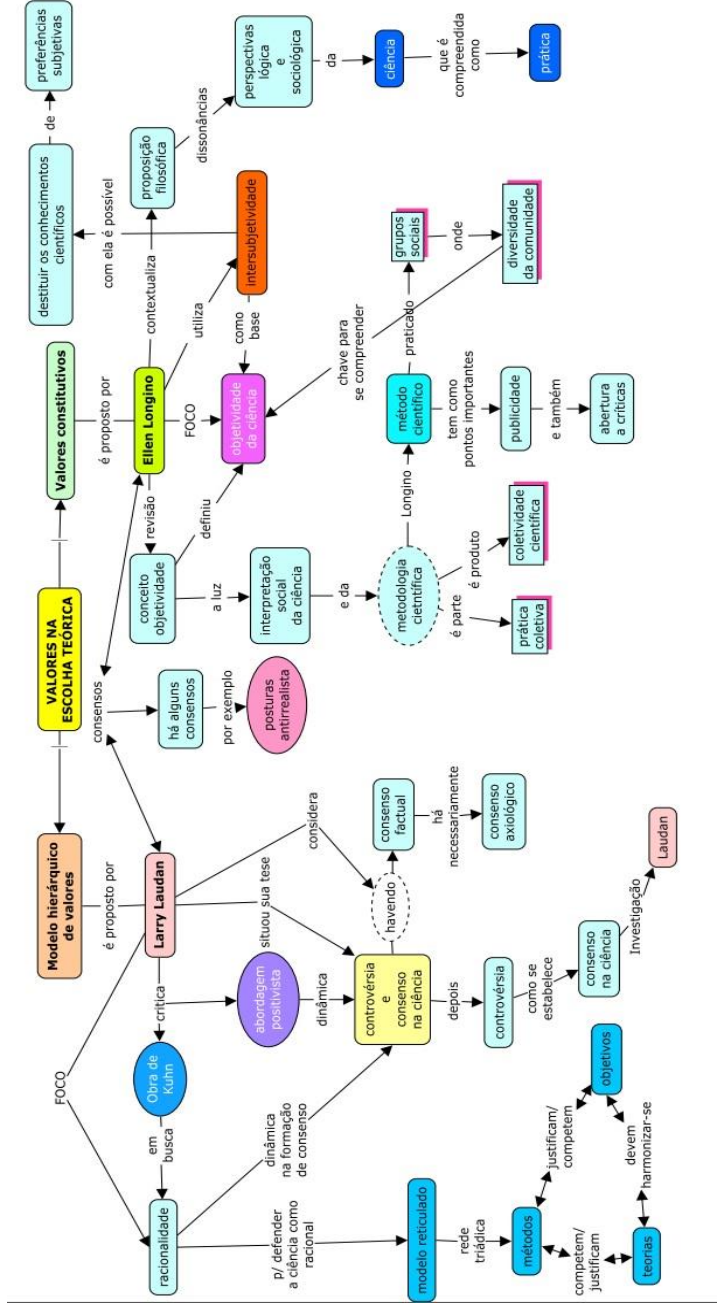


Fig. 10: Mapa conceitual relativo a Laudan e Longino, participante D



Semelhantemente ao que fez em relação às filosofias de Kuhn e McMullin, o participante E escolheu apresentar sua compreensão das noções de Laudan e Longino em mapas separados. Sobre Longino (fig. 5.11), situa dois de seus pilares: a dissonância entre as defesas positivistas e holistas e a revisão do conceito de objetividade. As ligações são muito ricas e mostram bom entendimento sobre as noções da filósofa.

Seu mapa relativo à obra de Laudan (fig. 5.12), por sua vez, mostra-se riquíssimo em contextualização das ideias do filósofo. Neste sentido, ele retrata que certos aspectos do conhecimento científico não funcionam como regras, como gostariam os positivistas, mas como valores, como aponta Thomas Kuhn. Ele também enquadra inicialmente a tese filosófica mais ampla de Laudan, sobre resolução de problemas, e insere o enigma inicial de *Science and Values*, que é a dinâmica entre dissenso e consenso na atividade científica. Ele ainda consegue apresentar o modelo hierárquico de justificação, seus problemas como ponto de reforma para o filósofo. A seguir, e em verde, apresenta o modelo reticulado de justificação e suas relações entre si. É um mapa conceitual pujante, com conexões bastante representativas de uma adequada clareza sobre as questões lidas e discutidas.

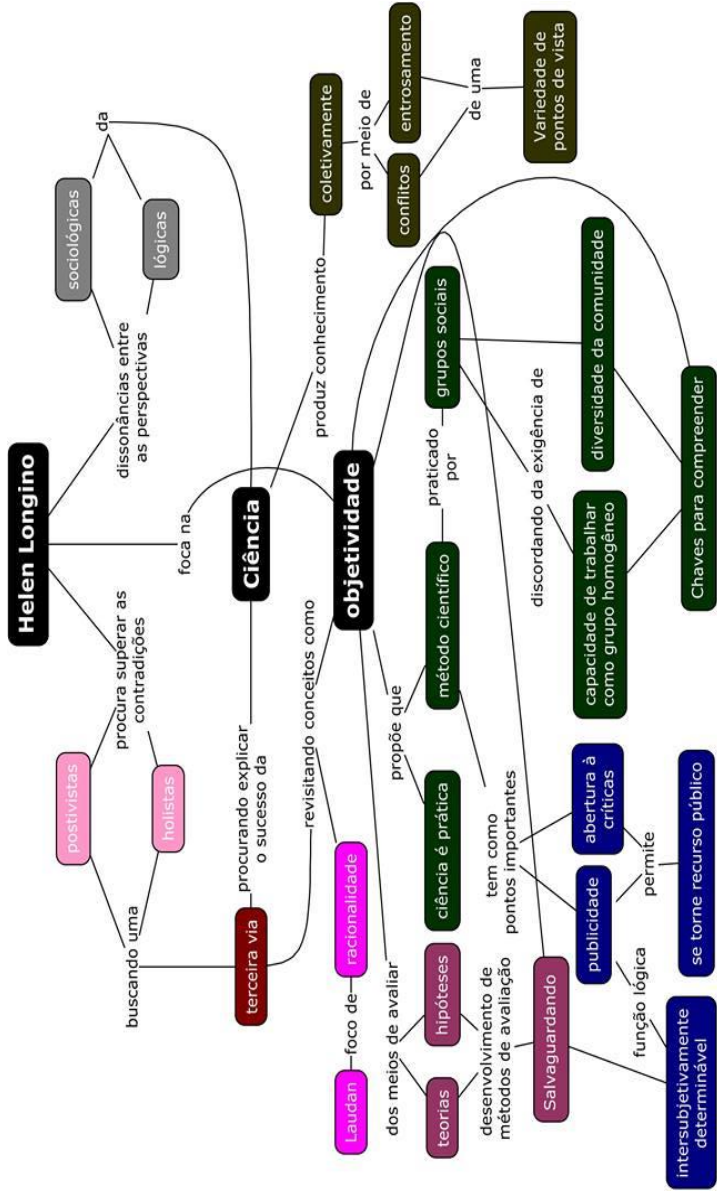


Fig. 5.11: Mapa conceitual relativo a Longino, participante E

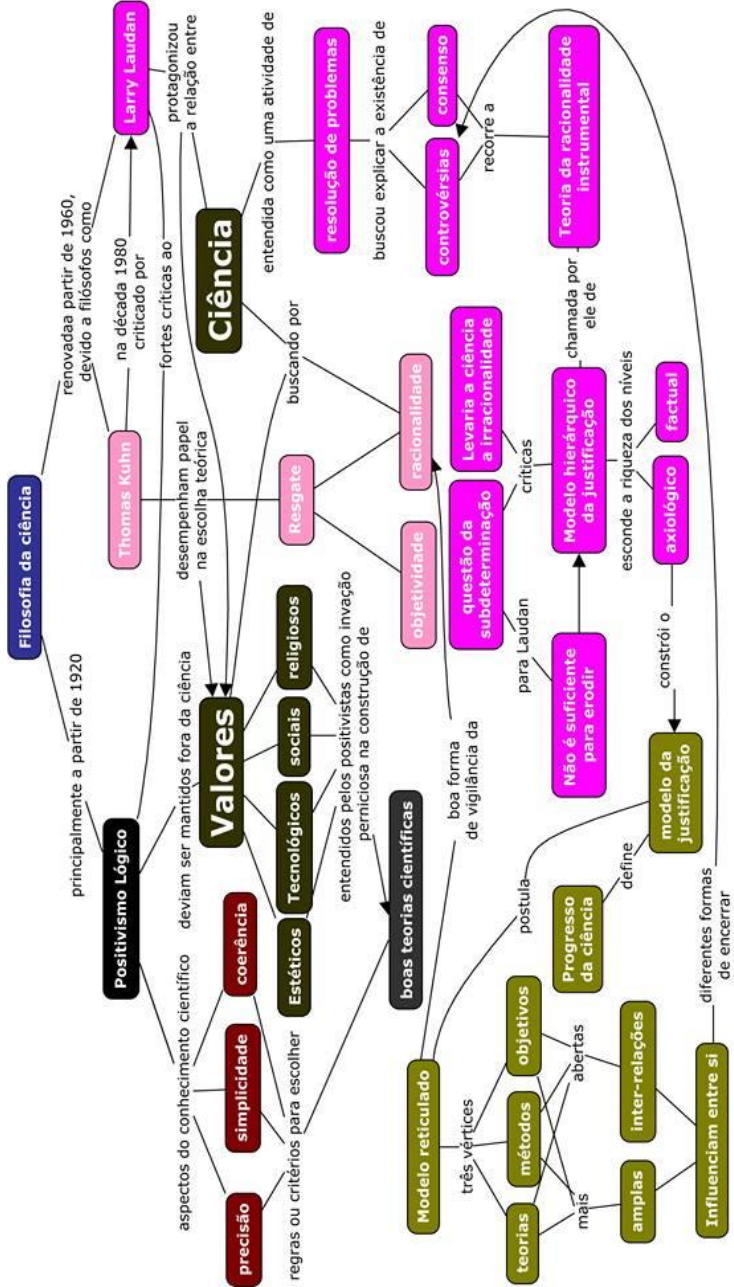


Fig. 5.12: Mapa conceitual relativo a Laudan, participante E

O participante C também preferiu separar os esquemas relativos a Laudan e Longino. Ao esquematizar alguns conceitos típicos de Laudan (fig. 5.13), situou a problemática das controvérsias científicas dentro do paradigma do positivismo, descreveu seu modelo hierárquico e classificou os valores como cognitivos. Além disso, também abordou o entendimento de progresso na ciência para Laudan. No esquema, o modelo triádico (dentro do retângulo verde) liga-se a modelo hierárquico de justificação; apesar disso, o participante esclareceu que sua intenção era a de explicitar que a rede triádica é uma reorganização do sistema hierárquico com especial atenção ao nível axiológico da atividade científica.

Um mapa com estrutura parecida foi confeccionado pelo participante C para estruturar as noções de Longino (fig. 5.14). Ao conceito mais inclusivo, apresenta-se a preocupação da filósofa com a objetividade e seu compromisso com uma visão também antirrealista. O participante associa metodologia científica à objetividade, questão por ele levantada durante os encontros. De maneira bastante apropriada, elenca os tipos de crítica distinguidas por Longino e, assim como seu mapa relativo a Kuhn e McMullin, apresenta pequenas explicações a tais conceitos, em cinza. Intersubjetividade, comunidade e os aspectos que permitem graus de objetividade na ciência são também explicitadas. Principalmente, o participante apresenta um dos quesitos mais importantes na tese da filósofa: a onipresença de valores contextuais, assim como cognitivos, na prática científica. O mapa apresenta sucintamente um bom encadeamento da perspectiva de Helen Longino para a intersubjetividade da prática científica.

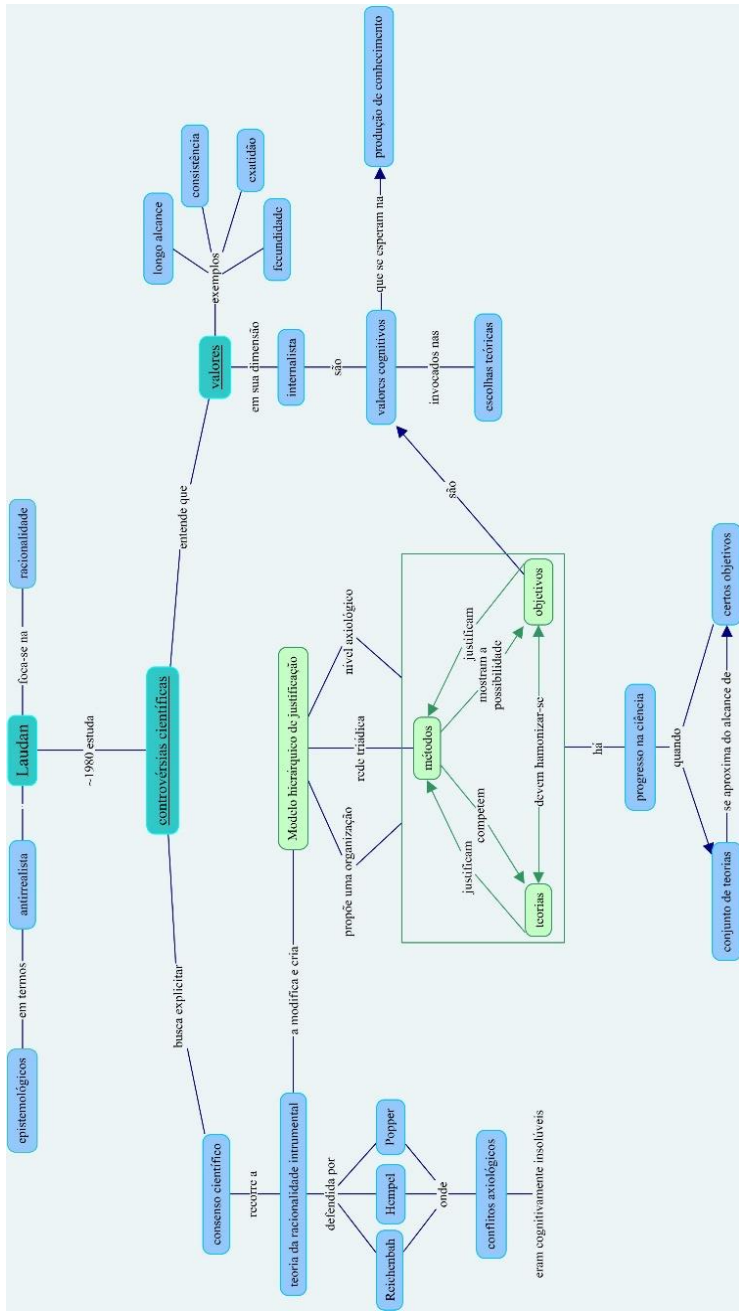


Fig. 5.13: Mapa conceitual relativo a Laudan, participante C



Com estes mapas e esquemas conceituais, é possível notar claramente uma diferença de conhecimento dessa ferramenta cognitiva entre os quatro participantes. Sua intenção não era a de serem pilares únicos das avaliações dos alunos, mas de se constituírem em sinalizantes de suas apreensões do tema filosófico, ciência e valores. Porquanto, de fato, seja possível notar que diversos conceitos poderiam ter tido novas ligações, explicitando, assim, evidências dos processos cognitivos perseguidos pela TAS, observa-se simultaneamente que o entendimento das relações entre ciência e valores, de maneira mais ou menos ampla, foi alcançado pelos participantes. Ademais, os mapas não foram os únicos instrumentos avaliativos empregados na unidade; com as observações feitas durante as etapas, pode-se constatar outros sinais, efetivamente, de apreensão do tema. O mais importante instrumento dessa avaliação, contudo, foram as unidades desenvolvidas pelos próprios participantes. A operacionalização dos conceitos filosóficos através de sua didatização foi, também, bastante representativa do grau de familiarização e apreensão desse tema filosófico.

## 5.5 AS UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS DESENVOLVIDAS PELOS PARTICIPANTES

Como etapa de avaliação somativa individual final, os participantes foram convidados a elaborar, eles próprios, UEPS sobre o tema ciência e valores. O público-alvo e o episódio histórico tiveram caráter eletivo. Os participantes sabiam da atividade avaliativa desde o início da UEPS e, portanto, abriu-se espaço para que, desde os estágios iniciais, as concepções das unidades fossem discutidas. Contudo, foi apenas nas etapas de aprofundamento de conhecimento com situação histórica que eles se demonstraram suficientemente à vontade para apresentar unidades mais robustas. Após todos os encontros, os participantes entregaram uma versão estendida de suas UEPS.

O que se pode notar, de maneira geral, foram os diferentes focos dados pelos participantes. Para A, por exemplo, no nível de ensino relativo à sua unidade (quadro 5.2) – a segunda fase do curso de Licenciatura em Física – a importância da discussão centrada em ciência e valores reside justamente em promover uma desconstrução de ideias ingênuas que potencialmente seriam reforçadas com outras disciplinas da Licenciatura e mesmo com formas alternativas de abordagem da ciência, como no documentário usado para uma situação inicial, seguido de uma confrontação com base no artigo de Silveira e Peduzzi (2006), sobre diferentes interpretações para o trabalho de Galileu. Além disso, é

interessante notar sua disposição em promover leituras comparadas, a exemplo de uma revisitação dos problemas do empirismo-indutivismo ingênuo, dispostos nos três primeiros capítulos de Chalmers (1996), através da discussão do que seriam os valores presentes na atividade científica. Para solidificar sua proposta, o participante ainda elabora etapas em que o próprio livro *O Mensageiro das Estrelas* pode gerar a discussão sobre os valores constitutivos da prática de Galileu – de natureza cognitiva e contextual, já que em sua obra é notória a menção à família Medici, patrocinadora de seu trabalho.

### **CIÊNCIA, VALORES E O MENSAGEIRO DAS ESTRELAS**

**Objetivo:** Desmistificar a interpretação empírico-indutivista da física e explorar a relação entre ciência e valores por meio do contexto de publicação da obra “*O Mensageiro das Estrelas*”, de Galileu Galilei.

**Público-alvo:** **História e Epistemologia da Ciência I (2ª fase, UFFS)**

**Duração:** 500 minutos (10 horas-aula)

#### **Sequência**

**Situação inicial:** exibição de trechos do documentário “Galileu: o Mensageiro das Estrelas”, que envolve uma interpretação baconiana da atividade científica e alguns equívocos históricos. Antes e durante a exibição do filme, instruir os alunos a fazer registros sobre as características da prática científica, de acordo com suas concepções e aquelas presentes no vídeo. A seguir, discussão em grande grupo sobre as respostas dadas à questão.

**Situações-problema:** Após o debate, instruir que façam a leitura do artigo *Três episódios da descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história* e elaborem perguntas em relação a ele. No encontro seguinte, retomar a leitura e as questões dos alunos. Associa-las a questões como i) Galileu realizou ou não o experimento da Torre de Pisa? ii) o trabalho de Copérnico tinha natureza científica? iii) qual o papel dos experimentos nos trabalhos de Galileu? iv) quais as implicações das constatações de Galileu com o telescópio sobre a visão de mundo da época?

**Exposição dialogada:** nesta etapa, com o auxílio da leitura dos três primeiros capítulos de *O que é ciência, afinal?*, e de um texto sobre a relação entre ciência e valores e as insuficiências das concepções empírico-indutivista e ateuca, discutir sobre a ideia baconiana de ciência e suas insuficiências. Deve-se confrontar aquilo que positivistas e empiristas ingênuos compreendiam como regras e objetivos da ciência – verdade absoluta, exatidão e neutralidade – com a compreensão mais



atual, de que são valores típicos da ciência, insuficientes para determinar escolhas teóricas. Ao final, os estudantes em dupla devem elaborar diagramas V que sistematizem a visão empírico-indutivista da ciência.

**Segunda situação problema:** apresentação dos diagramas, por parte das duplas desenvolvedoras, seguidas de debate em grande grupo. Com a mediação do ministrante, as insuficiências da tese positivista serão levantadas, por meio da associação com a relação entre ciências e valores. Ao fim, os alunos serão instruídos a fazer a leitura de *O Mensageiro das Estrelas*, de Galileu Galilei.

**Exposição dialogada:** iniciando com um debate sobre o texto de Galileu, debater acerca dos valores típicos da ciência presentes no livro. Em seguida, utilizar o prefácio como mote para explorar a relação entre ciência e valores contextuais, extrínsecos à ciência. Discutir a pertinência dos valores exteriores à ciência na prática científica, especificamente na de Galileu.

**Terceira situação-problema:** em duplas novamente, os alunos serão solicitados a construir um novo diagrama V, com a mesma pergunta focal do diagrama anterior, em que serão instruídos a responder a partir de uma visão epistemológica que considere a relação entre ciência e valores (inerentes à ciência e/ou contextuais). Esses diagramas serão apresentados novamente em grupo e negociados.

**Avaliação da aprendizagem na UEPS:** A avaliação será baseada nos diagramas V produzidos pelos alunos, nas apresentações feitas e na qualidade da participação (em termos de perguntas, argumentos) realizada em sala de aula.

**Avaliação da própria UEPS:** com as avaliações de aprendizagem dos alunos, considerar revisões nas estratégias de ensino que possam aumentar a potencialidade significativa da UEPS.

Quadro 5.2: UEPS elaborada pelo participante A

Na unidade desenvolvida pelo participante A, não há um aprofundamento das ideias sobre ciência e valores conforme algum dos quatro filósofos apresentados no curso, embora ela esteja justificada nas ideias de Laudan. A filiação a este filósofo fica mais clara na estruturação das críticas ao positivismo lógico e, como uma consequência, a determinadas concepções de neutralidade, exatidão, verdade. Apesar de

abordar os valores contextuais, nota-se que a preocupação do participante A, com sua UEPS, é a de introduzir, já no começo da formação de professores, elementos para a problematização da atividade científica, sem necessariamente fazer profundas incursões em filosofias da ciência certamente complexas para esse nível de ensino, como a de Helen Longino, ou a própria rede triádica de justificação de Laudan.

Tal como A, o participante D (quadro 5.3) também não buscou explorar em sua UEPS uma visão específica da relação entre ciência e juízos de valor, mas usar tal relação para problematizar as visões de ciência que alunos do 3º ano de ensino médio podem apresentar. Com uma unidade sobre a Teoria da Relatividade Geral, buscou trazer um conhecimento contextualizado em relação as mudanças de concepção sobre a gravitação, de Newton para Einstein.

### **VALORES NA CORROBORAÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL**

**Objetivo:** explicitar por meio do momento histórico da corroboração da Teoria da Relatividade Geral em 1919, os juízos de valor que permearam a atividade científica.

**Público-alvo:** Alunos do 3º ano de Ensino Médio

**Duração:** 8 aulas

#### **Sequência**

**Situação inicial:** por quem e como o conhecimento científico é construído? Para que servem os experimentos na construção do conhecimento? Os cientistas são influenciados por alguém ou algo? O que você entende por juízos de valor? São feitos juízos de valor na ciência? No decorrer desta etapa, anotar conceitos chave no quadro e pedir que os esquematizem, elaborando mapas mentais. A seguir, apresentar um vídeo que mostre a evolução dos sistemas astronômicos, seguido de mais uma discussão, sobre como ocorreu aquela evolução na ciência. Uma ilustração experimental, com toalha, melancia e laranjas é feita para explicitar como funciona a gravitação na Teoria da Relatividade Geral.

**Situação-problema inicial:** introduzir questionamentos sobre Einstein: Einstein foi um gênio? Ele construiu seus conhecimentos sozinho? Foi influenciado por algo ou alguém? Suas ideias tiveram que ser aceitas por alguém? O que ele julgava importante no conhecimento científico?

**Aprofundamento dos conhecimentos (aula expositiva):** apresentação de slides com algumas ideias epistemológicas que envolvam a relação entre ciência e valores, que apresentem especialmente questões como os valores cognitivos, os valores contextuais, a questão da escolha teórica e a importância da coletividade na atividade científica.

**Aprofundamento do tema/diferenciação progressiva:** aula expositiva com a introdução do episódio de corroboração da Teoria da Relatividade Geral. Considerar a importância de Arthur Eddington para a chegada das ideias de Einstein na Inglaterra e o experimento por ele executado para a corroboração da teoria. Trabalhar valores cognitivos e contextuais presentes neste momento histórico de corroboração. Exibir trechos do filme Einstein e Eddington, retornando às questões trabalhadas anteriormente.

**Atividade reconciliadora:** pedir que os alunos elaborem um mapa mental, aos moldes do mapa feito na situação inicial, inserindo agora os tópicos das discussões feitas nas etapas de aprofundamento. Apresentação do mapa ao grande grupo, seguido de negociação de significados.

**Atividade colaborativa:** introdução de textos sobre a relatividade geral, desenvolvidos pelo professor, que explicitem características ingênuas da atividade científica (Einstein como um gênio, a Teoria da Relatividade como produto de experimentação, etc) e outras mais adequadas, com relatos sobre os valores contextuais e cognitivos que estiveram presentes na aceitação da Teoria da Relatividade Geral. Roda de discussão sobre as diferenças entre os textos.

**Avaliação da UEPS (pelos alunos):** avaliação processual, dos mapas elaborados e das negociações de sentidos durante os encontros.

**Avaliação da UEPS (pelo docente):** uma análise qualitativa, por meio das observações livres em sala de aula, e das evidências da aprendizagem nas avaliações e alterações possíveis nas metodologias da UEPS

Quadro 5.3: UEPS elaborada pelo participante D

Assim, com a introdução de um momento histórico de escolha teórica, ele desenvolve etapas de modo a colocar em cheque a genialidade dos cientistas e as continuidades na ciência. Do mesmo modo que o participante A, D busca fazer uso dos valores de natureza cognitiva e contextual para introduzir as mudanças que geralmente ocorrem na física e na ciência. Com o auxílio de audiovisuais, entre eles o filme Einstein e Eddington, sua intenção é a de mostrar que valores nacionalistas e religiosos tiveram papel constitutivo para Eddington, e fizeram parte de sua escolha teórica. Diferentemente do participante A, que focou na erosão de concepções ingênuas, o participante D busca introduzir uma discussão sobre a ciência focada em sua coletividade. Assim, sua justificação epistemológica reside na filosofia de Longino, que trata justamente da importância da intersubjetividade, da igualdade de

autoridade intelectual e do papel constitutivo que podem ter determinados valores contextuais.

As duas unidades guardam outras semelhanças, como o uso sistemático de ferramentas típicas da Teoria da Aprendizagem Significativa. Para A, usam-se diagramas V, considerando que esse instrumento seja de conhecimento prévio dos estudantes. O participante D, por outro lado, prefere o uso de esquemas conceituais, com conceitos e ligações entre eles. Em ambos os casos, a recursividade, ou seja, a abordagem sistemática das questões centrais da unidade, é visível. O fato de serem dirigidos a públicos de pouca iniciação em tópicos filosóficos justifica, também, a utilização da relação entre ciência e valores para a construção de uma imagem mais condizente com o trabalho científico.

Voltadas para públicos mais versados para questões da filosofia da ciência, as unidades de C e E optam por expor as ideias de determinados filósofos. O participante C (quadro 5.4) desenvolveu uma unidade voltada ao aluno de Evolução dos Conceitos da Física, disciplina dirigida à licenciandos e bacharelados da última fase do curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. Fundamentada nas ideias de Thomas Kuhn, a unidade almeja explorar o episódio envolvendo o prelúdio da controvérsia entre Galvani e Volta. É mais uma unidade que faz uso de diversas ferramentas, como a apresentação de audiovisual, o documentário *Shock and Awe* da BBC, além de materiais em desenvolvimento pelo próprio participante. Este episódio é rico em aspectos que simbolizam claramente a natureza valorativa de características da ciência como precisão, simplicidade, consistência interna e externa. Com uma didatização das ideias de Kuhn, é possível compreender o caráter cognitivo da controvérsia e simultaneamente desconstruir algumas concepções ingênuas sobre a ciência.

### **JUÍZOS DE VALOR NA CONTROVÉRSIA GALVANI-VOLTA: O INÍCIO DA HISTÓRIA**

**Objetivo:** Evidenciar a relação entre ciência e valores no preâmbulo da controvérsia entre Galvani e Volta discutindo a concepção de valores e suas implicações na escolha teórica na perspectiva kuhniana. Busca-se propiciar reflexões e compreensões da complexidade existente no desenvolvimento científico.

**Público-alvo:** Alunos da disciplina Evolução dos Conceitos da Física (9ª fase, Física – Licenciatura e Bacharelado)

**Duração:** 8 aulas

**Sequência**

**Situação inicial:** solicita-se que os alunos levantem possíveis valores

que consideram fazer parte da ciência. A seguir, propõe-se a discussão pautada pelas questões: dentre os valores citados, é possível classificá-los como mais internos ou externos à ciência? Há valores que contribuem para o desenvolvimento científico e outros que penalizam ou desvalorizam a ciência?

**Situações-problema:** sugere-se a leitura de um texto sobre a perspectiva de Thomas Kuhn para a relação entre ciência e valores, seguida de discussões sobre o nível de concordância com as ideias do filósofo. Há divergências ou convergências das ideias do artigo com as levantadas por vocês anteriormente (na etapa inicial)?

**Captação de significados:** aula expositiva com apresentação de slides, com um panorama geral da relação entre ciência e valores ao longo da filosofia da ciência, desde o positivismo até as ideias de Kuhn, pautada também pela questão da (não) distinção entre contextos da descoberta e da justificativa.

**Aprofundamento do tema/diferenciação progressiva:** exposição oral e através de slides mais aprofundada sobre as concepções de Kuhn, mantendo a concomitância com a discussão sobre contextos da descoberta e da justificativa. Explicitam-se os valores listados por ele, ressaltando ser uma lista não exaustiva de aspectos que passam por juízos individuais e coletivos.

**Reconciliação integrativa e assimilação:** com a leitura prévia do artigo *A rã e suas histórias: a gênese de uma controvérsia*, propõe-se uma análise da relação entre ciência e valores na controvérsia Galvani-Volta. Discutem-se valores como precisão, simplicidade, consistência interna e externa, pautando a relevância das posições de Kuhn em contrapartida com as dos positivistas ante a história da ciência;

**Aula integradora final:** com a exposição dialogada de slides, retomar os principais tópicos tratados na UEPS, passando pelas inconsistências positivistas, pelas ideias de Kuhn e pela importância da análise histórica para a filosofia da ciência.

**Avaliação somativa:** solicita-se que os alunos desenvolvam uma análise crítica acerca dos juízos de valor presentes na gênese da controvérsia Galvani-Volta, evidenciando a existência, ou não, de uma relação concomitante de fatores objetivos e subjetivos nesse episódio histórico.

**Avaliação da UEPS (pelos alunos):** avaliação individual, dissertativa, que abrange a análise crítica, por parte dos alunos, de cada componente da UEPS (materiais e estratégias).

**Avaliação da UEPS (pelo docente):** uma análise qualitativa, por meio das observações livres em sala de aula, das evidências da aprendizagem nas avaliações.

Observa-se que a unidade do participante C demanda algum conhecimento inicial sobre a filosofia da ciência; a disciplina escolhida para elaboração e desenvolvimento, de fato, já apresenta aos alunos um aporte epistemológico nas discussões históricas de variados episódios da história da ciência, desde as relações filosóficas entre força e movimento, até a história de temas mais contemporâneos da física, como o modelo padrão de partículas.

### **DISCUSSÃO DOS VALORES DA OBJETIVIDADE E RACIONALIDADE NA CIÊNCIA DURANTE A FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES**

**Objetivo:** Discutir questões de filosofia da ciência por meio de um debate acerca da adequação ou não dos valores da objetividade e racionalidade no empreendimento científico apresentando posições diversas sobre as questões de filósofos da ciência e discussão e análise de um episódio de história da ciência.

**Público-alvo:**

**Duração:** 9 a 12 horas-aula

**Sequência**

**Situação inicial:** apresentação de um documentário (sugestão: *Cosmos* (1984 e 2014) ou *Os Incrédulos* (2014)) que ressalte o caráter racional e objetivo da ciência, pedindo que atentem para trechos que revelem esse aspecto. Após, socializar os trechos observados pelos alunos e o grau de concordância dos alunos com o assunto.

**Situações-problema:** em grupo, discutir (i) a ciência é sempre objetiva e racional?; (ii) a racionalidade e objetividade são características que garantem a excelência do conhecimento produzido pelo empreendimento científico?; (iii) se a ciência não fosse racional e objetiva, isto implicaria em perda de seu caráter de excelência na sociedade? A seguir, distribuir cópias individuais do artigo *A relação entre ciência e valores constitutivos como um novo horizonte para a pesquisa em educação científica*, e, em pequenos grupos, desenvolver mapas conceituais sobre o assunto. Após a socialização dos mapas em grandes grupos, alterá-los conforme as sugestões e entregar a versão final ao professor.

**Revisão:** mini-aula expositiva, aberta a questionamento, sobre os tópicos relacionados ao texto lido na aula anterior e às filosofias nele exploradas de Laudan e Longino. Distribuir cópias de *Ciência: a nova religião? – o debate e suas possíveis implicações para a educação científica*. Em pequenos grupos, desenvolver mapas conceituais, alguns sendo socializados. Modificações podem ser feitas, se necessárias, após a socialização.

**Nova situação-problema, em nível mais alto de complexidade:** nova etapa de debate, envolvendo em princípio questões como: A ciência vista sob a óptica da epistemologia racionalista, pode ser considerada uma forma secularizada de religião sob o ponto de vista da filosofia da ciência relativística? De acordo com os relativistas, a objetividade e racionalidade são valores que trazem credibilidade e excelência ao conhecimento científico? A ciência, segundo estes filósofos, é racional e objetiva?

**Avaliação somativa individual:** com a leitura do texto *Ciência e valores na “descoberta” dos primeiros elementos transurânicos*, propor a questão aberta: É possível encontrar na interpretação do episódio em questão feita por Laudan e Longino características que os relativistas identificariam como uma forma secularizada de religião que toma o empreendimento científico na visão destes autores?

**Aula expositiva dialogada integradora final:** retomar todo o conteúdo da UEPS, rever alguns mapas de alunos dos artigos trabalhados nas aulas anteriores. E a seguir, realizar uma discussão acerca da questão da avaliação somativa individual que inclui a interpretação do professor também.

**Avaliação da aprendizagem na UEPS:** Solicitar aos alunos que se posicionem em relação a questão central da discussão da UEPS: A objetividade e racionalidade contribuem com o caráter de excelência da ciência? A ciência é racional e objetiva?

Quadro 5.5: UEPS elaborada pelo participante E

O mesmo ocorre na unidade desenvolvida pelo participante E (quadro 5.5), voltada para uma disciplina tipicamente oferecida na sétima fase do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Sua unidade não centraliza tanto no papel dos valores para a escolha teórica, mas na operacionalização desses valores para a compreensão (ou não) da racionalidade e da objetividade enquanto ideais da ciência.

Esta unidade também envolve a apresentação de audiovisual, buscando ilustrar a compreensão generalizada da ciência como empreendimento racional e objetivo. Nas etapas seguintes, busca-se confrontar essa ideia – a saber, a objetividade de Longino e a racionalidade de Laudan – com o uso dos artigos *A relação entre ciência e valores constitutivos como um novo horizonte para a pesquisa em educação científica* e *Ciência: a nova religião? – o debate e suas*

*possíveis implicações para a educação científica.* Como etapas avaliativas, o participante E sugere a elaboração de mapas conceituais e análise crítica do artigo Ciência e valores na “descoberta” dos primeiros elementos transurânicos.

Estes dois casos específicos são bastante reveladores das posturas epistemológicas dos dois últimos participantes. O participante C vem associando as ideias de Thomas Kuhn às suas pesquisas, justamente por investigar as potencialidades da discussão sobre descobertas na formação de licenciados e bacharéis em física, tema que o filósofo também conseguiu associar à sua tese de revoluções científicas. É compreensível, portanto, que o tenha escolhido como referência, mesmo que o módulo filosófico da unidade tenha introduzido outros três filósofos que o criticaram veementemente, apesar de acatarem a proficuidade das ideias de Kuhn (KUHN, 2009). Ao mesmo tempo, o participante E apresenta uma unidade que se centra justamente na crítica às filosofias também críticas a Kuhn. Amparado nas objeções de Paul Feyerabend, o participante não buscou uma unidade doutrinadora sobre racionalidade e objetividade, mas uma sequência capaz de manter acesa a problematização acerca da ciência, suas práticas e seus métodos.

Cabe ressaltar a inclinação de todos os participantes a manter determinados passos fundamentais às unidades de ensino potencialmente significativas, como as situações iniciais e as situações-problema, as avaliações ao longo da unidade, assim como aquelas de caráter somativo individual e o esforço em propiciar a recursividade das discussões através de materiais escritos e audiovisuais. A existência de uma avaliação final das próprias UEPS denota também um compromisso com a Teoria da Aprendizagem Significativa, salientando o essencial caráter dinâmico das ações de ensino-aprendizagem.

## 5.6 AVALIAÇÃO DA UEPS: CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre ciência e valores é bastante sofisticada. A depender das posturas ontológica e sociológica dos estudiosos, os juízos de valor feitos pelos cientistas ganham as mais distintas interpretações, com também variadas consequências epistemológicas. Apesar – ou, talvez, em virtude – de sua complexidade, o tema certamente guarda potencialidades para a educação científica. A unidade de ensino potencialmente significativa desenvolvida neste estudo buscou propagar a discussão sobre o papel de juízos de valor na ciência, ponderar sobre as possibilidades para a educação científica e gerar, através de uma intensa



intersubjetividade, didatizações do tema para diferentes níveis educacionais.

Pesquisadores e, portanto, especialistas em educação científica participaram desta UEPS e, para além de sua aprendizagem sobre o assunto, almejava-se que também pudessem contribuir sobre as potencialidades educacionais do tema – o que efetivamente ocorreu. Suas contribuições foram variadas, não apenas em relação aos episódios históricos que buscaram envolver, mas na maneira como vislumbraram abordar o tema de acordo com os públicos escolhidos. Se, por um lado, a relação entre ciência e valores foi apontada como uma maneira de mostrar a ciência de um modo mais rico e dinâmico a públicos de pouco conhecimento filosófico, como defendido pelos participantes A e D, por outro, pode apresentar uma visão mais crítica em relação aos próprios valores e compreender a estrutura cognitiva de controvérsias na ciência, como respectivamente propõem os participantes E e C.

Duas possibilidades futuras na investigação envolveriam a elaboração de material como o idealizado por alguns participantes e a implementação das sequências desenvolvidas. Na unidade desenvolvida pelo participante C, por exemplo, propõe-se a leitura do texto “A rã e suas histórias”, que ainda não existe – pois está em fase de elaboração, – mas que o participante C pretende implementar na UEPS relativa à sua pesquisa. O participante E também sugere a escolha de um documentário que enfatize a dimensão racional e objetiva da ciência, e faz sugestões nesse sentido. Naturalmente, audiovisuais distintos apresentariam diferenças que também precisariam ser aprofundadas antes de uma aplicação. Também cabe a quem tiver a intenção de aplicar tais unidades que desenvolva materiais como slides para apresentação nas etapas expositivas. Apesar desses fatores que ainda carecem de finalização – pois dependem inerentemente do contexto de aplicação –, por certo, seria interessante analisar os resultados de suas aplicações nos respectivos contextos, além do (ideal, mas não impossível) acompanhamento dos efeitos de tais discussões ao longo do restante de suas formações docentes.

A propósito desta UEPS, os resultados mostraram-se favoráveis às potencialidades do tema. Algumas questões metodológicas emergiram naturalmente, sobretudo em relação à proposição de elaboração de mapas e esquemas conceituais (visto que parte dos participantes tinha pouca experiência com essa ferramenta). Na prática, mapas conceituais envolvem uma linguagem que precisa ser compreendida para que seja capaz de manifestar em riqueza as estruturas cognitivas de seu elaborador. Neste caso, alguns mapas apresentaram pequenas incorreções ou ligações

ambíguas. Contudo, ao associá-los às observações das discussões durante os encontros, foi possível notar a apreensão de detalhes profundos das filosofias analisadas, evidências da ocorrência de aprendizagem significativa.

Além disso, a proposição de uma atividade de natureza didática como parte da avaliação individual mostrou-se bastante vantajosa em termos de aprendizagem; os participantes tiveram a oportunidade de analisar criticamente outros episódios históricos e se posicionar sob uma ótica diferente (e algumas vezes complementar) às posturas epistemológicas que demonstram em suas investigações. Esse exercício de sistematização, que resultou em quatro interessantes e bastante diferenciadas sequências de ensino, evidenciou em todos os casos o processo de reconciliação integradora dos assuntos, em maior ou menor grau.

Uma questão chave em toda a discussão filosófica e nos exemplos históricos discutidos é a subdeterminação das teorias pelas evidências. Nenhuma das UEPS desenvolvidas abordou o conceito explicitamente, embora ele esteja no cerne das sequências dos participantes C e E. Este é um conceito filosófico tratado com grande importância nos textos discutidos, por trazer sentido e coesão a diversas questões relativas à natureza da ciência que vêm sendo pautadas pela educação científica. Uma possibilidade futura desta unidade pode envolver a proposta de elaboração de UEPS que envolvam a questão da subdeterminação na relação entre ciência e valores e suas possibilidades não apenas para a história e filosofia da ciência no ensino de ciências, mas também para outras linhas de pesquisa, como CTS, linguagem, alfabetização científica e tecnológica e diversidade e multiculturalismo no ensino de ciências. Contudo, outros aspectos bastante positivos inculcados pelos participantes em suas UEPS, como seus conhecimentos sobre outras teses filosóficas e os episódios da história da ciência escolhidos para as sequências, trazem outra forma de riqueza para as interpretações dadas aos juízos de valor na prática científica.

## 5.7 REFERÊNCIAS

ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

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

- KUHN, T. S. Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. (1973) In: **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, p. 363, 2009.
- LAUDAN, L. **Science and values**: the aims of science and their role in scientific debate. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1984.
- LAUDAN, L. The Epistemic, the Cognitive, and the Social. In: MACHAMER, P.; WOLTERS, G. (eds.). **Science, Values, and Objectivity**. University of Pittsburgh Press, Universitätsverlag Konstanz, 2004.
- LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.
- LONGINO, H. **Science as a social knowledge**: values and objectivity in scientific inquiry. Princeton: Princeton University Press, 1990.
- McMULLIN, E. Values in Science. In: **PSA**: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. The University of Chicago Press, v. 2: Symposia and Invited Papers, p. 3, 1983.
- McMULLIN, E. A case for scientific realism. In: LEPLIN, J. **Scientific Realism**. Berkeley, Los Angeles, Londres: University of California Press, 1984.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente. In: MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRIGUEZ, LM. L. (orgs). **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. Burgos, Espanha. 1997.
- MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. **Cadernos de Aplicação**, v. 11, n. 2, p. 38, 1998.
- MOREIRA, M. A. Diagramas V e Aprendizagem Significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 6, n. 2, p. 3, 2007.
- MOREIRA, M. A. O que é afinal Aprendizagem Significativa? **Curriculum**, 2012.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. Artigo submetido a publicação, disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>> (Acesso: 10 de dezembro de 2015), 2015.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. 1ª ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1984, 212p.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS: LIMITES E POSSIBILIDADES

É impossível dissociar a história do conhecimento humano, e consequentemente da ciência, da própria história da humanidade. A busca pelo conhecimento esteve atrelada a diversos fatores, como afirma McMullin (2000) – inclusive o de controle da natureza. Esse controle, com a crescente aproximação entre política e ciência, no século XX, resultou na maior catástrofe provocada pelo homem – a bomba atômica que determinou o ocaso da Segunda Grande Guerra e alvorada da Guerra Fria.

Se a geopolítica do século XX foi decisiva para as pesquisas em ciência em geral, ela também o foi para a educação científica. A corrida armamentista que caracterizou a Guerra Fria era intrinsecamente científica e tecnológica, resultado lógico da finalização trágica da Segunda Grande Guerra. A largada dada pela União Soviética, com o lançamento do satélite artificial *Sputnik* disparou o programa espacial estadunidense. Mais do que nunca, era necessário formar uma grande massa crítica de cientistas e engenheiros, o que deflagrou uma série de grandes projetos educacionais, objetivando o treinamento científico em Física, Química e Biologia.

O que ficou conhecido como a era dos grandes projetos educacionais foi, portanto, fruto de um tempo em que a corrida espacial e armamentista demandou maior recrutamento de cientistas. Esse momento histórico ainda foi marcado por uma visão positivista de ciência que, embora sofrendo críticas, ainda não tinha sido substituída. Não é coincidência, portanto, que uma mudança de visão de mundo, iniciada na década de 1960, tenha sido acompanhada também do início de grandes mudanças filosóficas e educacionais. Os movimentos contraculturais estadunidenses daquela década, protagonizados pelos movimentos pacifista, ambientalista e feminista, fundamentados em um profundo sentimento de insatisfação, desafiavam o conservadorismo, demandando o fim da Guerra do Vietnã e um novo olhar para as questões ambientais.

Na filosofia da ciência, a doutrina do positivismo lógico, que já vinha sofrendo duras críticas diretas, por Quine e Popper, por exemplo, recebeu seus golpes mais duros com a publicação e, mais importantemente, a grande aceitação de *A Estrutura das Revoluções Científicas*, de Thomas Kuhn. É verídico que outros filósofos, como Gaston Bachelard e Ludwik Fleck tenham apresentado visões de ciência provocadoras aos ideais positivistas muito antes, na década de 1930, e que tenham sido tidos por alguns pensadores posteriores como seus precursores. Contudo, o cenário internacional em suas épocas não se

mostrou tão fértil quanto em 1960, quando uma visão rígida, lógica e pragmática de mundo e de ciência foram contundentemente questionadas. O que se seguiu na filosofia da ciência foi, de fato, uma grande e rápida revolução.

Educacionalmente, os acontecimentos não foram tão vertiginosos, mas articularam desde o início as mudanças sociais e filosóficas que protagonizavam a década. O fracasso dos grandes projetos educacionais científicos revelou a necessidade de uma aproximação com a filosofia da ciência. De fato, a abordagem fortemente empirista ingênua e conteudista de vários projetos, em especial na física o PSSC, considerada um dos fatores para seus fracassos (KRASILCHIK, 1992; MATTHEWS, 1995; MOREIRA, 2000), passou a ser percebida como um obstáculo a ser transposto. Iniciava-se a consolidação da área de pesquisa em educação científica, com o mapeamento dos problemas inerentes à ideologia de ensino de ciências dos grandes projetos curriculares. Na década de 1970, começava-se a pensar em questões como as concepções alternativas dos estudantes (MOREIRA, 2004).

Completam-se, assim, mais de cinco décadas da pesquisa em ensino de ciências. Desde lá, as mudanças no mundo e na filosofia continuaram a ocorrer. Na filosofia, a primeira onda pós-positivista, personificada em Thomas Kuhn, Paul Feyerabend e Imre Lakatos vem sendo, ela mesma, repensada por filósofos preocupados com terceiras vias entre o engessamento lógico do positivismo e o exacerbado relativismo de alguns dos primeiros contestadores dessa doutrina. Na educação científica, as concepções alternativas deram espaço aos estudos sobre mudança conceitual, seguidos das representações mentais e, atualmente, as pesquisas têm focado na formação de professores e estudos microetnográficos (MOREIRA, 2004). É uma área de pesquisa consolidada, mas que vem tendo que encarar um antigo desafio: apesar da grande quantidade de conhecimentos produzidos, seus resultados ainda são pouco notados na prática cotidiana de ensino de ciências de educação básica (MOREIRA, 2004; MARTINS, 2009; ALMEIDA, 2012).

Para Almeida (2012), que foca na questão da formação de professores, houve uma tendência histórica na área em promover prescrições e recomendações vazias aos docentes. São instruções sem maiores aprofundamentos teóricos que mostram uma visão bastante simplória de professor por parte dos pesquisadores. Reconhece-se pouco o papel desse ator do sistema educacional como fonte de conhecimento além do livro didático e a ele se atribui o papel de transmissor de uma série de saberes que a própria academia propõe. É, de fato, uma perspectiva verticalizadora e diretiva, que não abre espaço para os fatores

que caracterizam propriamente o ensino de ciências, oriundos da realidade da sala de aula, em favor de uma perspectiva de ensino asséptica, idealizada e de difícil execução. Ademais, falha em entender a figura do professor como provedor de saberes essenciais, sobre os conhecimentos e, principalmente, sobre os alunos.

No mesmo sentido, Moreira (2004) compreende que a falta de diálogo entre pesquisa e ensino por certo ocorre em razão da baixa participação dos professores na própria pesquisa. Não é o caso de exigir que os professores atuantes na educação básica procurem formação continuada (acadêmica ou não), mas que as pesquisas incluam esses professores e suas reflexões na própria revisão de suas estruturas teórico-metodológicas. Isso significa preocupar-se com a relevância das questões-foco de investigação e com a geração de linhas de pesquisa progressivas e conduzidas em grupo e com média ou longa duração. Para ele, essas ações são algumas das que se pode tomar para responder aos desafios que cada vez mais se desnudam aos pesquisadores: qual o compromisso da área de educação em ciências (rigor, intervenção, ambos)? Qual seu real objeto de estudo? Quais são os problemas relevantes da área e qual sua finalidade? Quais são os critérios essenciais para asseverar seu progresso?

É interessante que, assim postas, essas questões mostram um esforço epistemológico de qualificação das investigações e produção de conhecimento em educação científica. São perguntas acerca de seus valores, objetivos e métodos, referentes à relação entre teorias educacionais e a prática de fato, que não vem se cumprindo a contento. A história da educação científica mostra que a área esteve inescapavelmente envolvida com valores provenientes da conjuntura geopolítica, assim como de outras áreas de conhecimento, como a filosofia da ciência, a psicologia cognitiva e a própria educação. As perguntas propostas por Moreira (2004), assim como suas sugestões para uma maior efetividade das pesquisas em educação científica, podem ser examinadas, portanto, dentro de uma perspectiva sobre a relação entre conhecimento e valores. Qual foi a estrutura axiológica da educação científica ao longo destas cinco décadas? Quais são os valores esperados daqui por diante?

Naturalmente, as ciências naturais e a educação científica têm muitas diferenças. Para a ciência, as perguntas lançadas por Moreira (2004) vêm sendo respondidas na filosofia da ciência há alguns séculos, com reconhecida divergência entre os filósofos. Em termos axiológicos, esta tese se esforçou em mostrar como Kuhn (1973, 2000), McMullin (1983), Laudan (1984) e Longino (1990) responderam tais perguntas. São ideais de ciência que envolvem juízos de valor na escolha teórica,

questões ontológicas sobre o conhecimento científico, a relação entre métodos, teorias e valores para a racionalidade do conhecimento científico e a importância cognitiva da coletividade na prática científica.

Mesmo que o objeto da educação científica seja intrinsecamente diferente da ciência, cabe, como uma possibilidade futura desta investigação, pesquisar acerca das interseções entre as visões de construção de conhecimento de alguns destes filósofos e do que vem ocorrendo historicamente na educação científica. A visão de Helen Longino (1990), por exemplo, pode ser especificamente interessante no caso da educação científica, pois consegue encadear a importância da produção de conhecimento como prática à negociação de valores de natureza contextual e cognitiva.

Ao procurar compreender a área de educação científica como prática, é essencial examinar determinadas questões: a área tem buscado incessantemente a coletividade? Ela tem permitido a crítica intersubjetiva? Que valores contextuais têm tido papel constitutivo na área? Igualdade de autoridade intelectual e padrões compartilhados têm sido promovidos? As retrospectivas de Moreira (2004) e Almeida (2012) podem fornecer algumas respostas a essas perguntas. A coletividade é uma característica da área, de fato. Nos últimos anos, pode-se notar um rápido aumento na população de pesquisadores na área. Ao mesmo tempo, houve um crescimento no número de encontros e conferências entre pesquisadores e a especialização cada vez maior dos periódicos. Não seria equivocado, portanto, confirmar a coletividade da área. Mas mais que coletiva, a área tem que ser propiciadora da crítica intersubjetiva – ou seja, é necessário que os trabalhos, na forma de teses, dissertações, artigos ou comunicações – passem pela crítica dos pares, sejam escrutinizados, replicados, adaptados. Para Moreira (2004), a intersubjetividade não vem sendo buscada com o afinho necessário, especialmente nos últimos tempos, em que estudos de caso de curta duração têm sido preponderantes. Em suas sugestões para a consolidação da área, ele menciona explicitamente a necessidade de grupos de pesquisa, com execução de investigações de longo prazo, com a inclusão de professores, e que busquem a auto avaliação de suas fundamentações teóricas, metodológicas e epistemológicas.

Ainda neste caminho, Moreira (2004) é assertivo em apontar a importância da construção de critérios e estratégias para a crítica na área, para a distinção entre pesquisa e reflexão, para melhorar o processo de avaliação por pares. São apontamentos essenciais que mostram ainda uma lacuna na área em buscar igualdade intelectual e padrões compartilhados, fatores essenciais para construção de conhecimentos robustos. Importa



ainda ressaltar um ponto fundamental das análises de Almeida (2012) e Moreira (2004), que é a falta de diálogo com o professor (e, desse modo, com o sistema didático efetivo), revelando um valor contextual político que hierarquiza pesquisa, ensino superior e ensino básico.

Por certo, as possibilidades de análise da educação científica com o aporte da filosofia da ciência de Helen Longino (1990) não se esgotam por aqui. Todavia, é fundamental para essa análise que se compare o objeto da análise da filósofa, as ciências naturais, ao objeto da área. Ademais, outros filósofos podem fornecer subsídios teóricos capazes de elucidar as questões retrospectivas e perspectivas do ensino de ciências. Como se buscou mostrar, pensar a produção de conhecimento por meio da análise dos juízos de valor feitos por uma comunidade parece terreno bastante fértil àqueles que vêm se dedicando ao meta-conhecimento da área.

Mais especificamente, importa ainda examinar esta tese em relação aos valores que ela pretende simbolizar e como eles se enquadram neste panorama geral de educação científica. Como sua questão de investigação, seus objetivos, seu método, sua estruturação se encaixam na conjuntura da pesquisa em educação em ciência? Que limites se revelam e que possibilidades são vislumbradas?

Duas questões de pesquisa marcaram esta investigação: *Que valores invocados pela comunidade científica foram determinantes na descoberta equivocada dos primeiros elementos transurânicos e no posterior reconhecimento do fenômeno da fissão nuclear? Qual o potencial desta análise para a educação científica?* Para respondê-las, foram arrolados seis objetivos específicos, que almejavam mostrar uma nova intersecção entre filosofia, história e ensino de física, que foram cumpridos nos cinco artigos que formam os capítulos desta tese.

Para Longino (1990), a crítica intersubjetiva é o fator mais importante na prática científica; somente com ela, é possível eliminar do conhecimento produzido as preferências subjetivas que podem ser danosas à ciência. É necessário, portanto, que haja espaço para que essa crítica seja efetivada, como periódicos reconhecidos e eventos. Apesar das diferenças entre ciência e educação científica como áreas de pesquisa, é claro que o mesmo pode ser afirmado sobre a importância da intersubjetividade, o que faz da escolha desta tese em apresentar-se na forma de artigos uma inclinação coerente com um dos referenciais epistemológicos nela mobilizados. Mais que isso, na finalização desta pesquisa, versões reduzidas dos quatro primeiros artigos foram apresentadas ou aprovadas em eventos reconhecidos da área. Um estudo histórico preliminar foi publicado e o quarto capítulo foi aceito para

publicação. Apesar dessas primeiras evidências de aceitação da área, a crítica intersubjetiva acerca das ideias aqui expostas ainda precisa de tempo para se efetivar.

Com a apresentação de quatro panoramas epistemológicos baseados na relação entre ciência e valores, esta tese busca defender a hipótese de que eles podem ser fecundos como marcos teóricos na pesquisa em educação em ciências, sobretudo para aquelas que fazem uso da história da ciência no ensino. Assim, com o objetivo de avaliar essa potencialidade, procurou-se efetivar a crítica intersubjetiva no último capítulo, com a proposição da unidade de ensino “Fissão Nuclear e Valores”. Nela, não apenas a aprendizagem significativa dos participantes – quatro pós-graduandos do Programa de Pós-Graduação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina – foi avaliada, mas também as críticas por eles tecidas aos filósofos discutidos, suas proficuidades para a análise histórica e, principalmente, sobre as potencialidades do tema para a educação científica. Uma análise inicial das unidades de ensino potencialmente significativas por eles construídas evidenciou que o tema tem potencialidades para diferentes públicos, sobretudo para uma formação de professores mais crítica e filosoficamente embasada. Apesar das dificuldades do tema, no estudo de caso desenvolvido nesta pesquisa, notou-se a inclinação de se utilizar a relação entre ciência e valores nos vários níveis de ensino para o ensino sobre/de física, sem a exigência de uma investida nos pormenores das filosofias apresentadas. Através de suas UEPS, os pares puderam mostrar que não é necessário limitar-se à história da fissão nuclear para provocar, no ensino de ciências, as reflexões sobre o papel dos juízos de valor na prática científica.

Pensar esta tese em termos de alguns valores constitutivos para a área de educação científica (tanto quanto para a ciência) pode ser bastante ilustrativo e vantajoso, capaz de elucidar, efetivamente, seus limites e suas possibilidades. Para isso, é inescapável invocar, mais uma vez, as diferenças entre a área de educação científica e a própria ciência. Sendo o objeto da ciência os fenômenos naturais e seu objetivo a produção de conhecimento teórico empiricamente embasado sobre eles, a histórica demanda pelo afastamento entre valores intrínsecos e extrínsecos à ciência sempre foi simbólica de um compromisso com a liberação da ciência das ideologias humanas. Apesar disso, filósofos como Longino (1990) vêm mostrando que essa distinção é demasiadamente sutil e que mesmo na ciência muitos valores de natureza contextual podem (e por vezes devem) ter natureza constitutiva. De todo modo, as classificações cognitivo e contextual são úteis na análise da história da ciência e

permitem um mapeamento dos valores contextuais que, em determinadas épocas, desempenharam papel constitutivo na ciência e, mais ainda, sobre os efeitos dessa associação.

O objeto da educação científica é tão complexo quanto o da ciência, além de possuir suas particularidades, por abranger a produção de conhecimento escolar e das relações humanas e sociais que envolvem o sistema didático. Neste sentido, cabe ressaltar que a própria substantividade de valores cognitivos não é discernível dos valores contextuais. Em outras palavras, é impossível distinguir alcance, fertilidade, coerência e mesmo precisão de um quadro de expectativas sociais, éticas, políticas e humanas para o empreendimento educacional, principalmente em um mundo intrinsecamente voltado para a ciência e a tecnologia.

Esta pesquisa almejou, nas reflexões educacionais dos quatro primeiros capítulos, exibir o alcance das relações entre fissão nuclear e valores não apenas para a linha de pesquisa em história, filosofia e ensino de ciências, mas também para a de CTS e a educação científica. As duas linhas têm claras interseções, em virtude de sua preocupação com o ensino sobre ciências e sua relevância para a compreensão do papel da ciência na sociedade ocidental. Entretanto, vários obstáculos têm se interposto a esse objetivo, como a necessidade de formação de professores capazes de compreender significativamente as questões filosóficas, e o esvaziamento conceitual de algumas abordagens, além do questionamento sobre a possibilidade da educação científica formar cidadãos capazes de fazer escolhas científicas e tecnológicas do mundo contemporâneo (ACEVEDO et al, 2005; MARTINS, 2007). Ademais, é usual notar uma predisposição a abordagens internalistas na linha de história, filosofia e ensino de ciências, assim como uma preferência aos temas externalistas em CTS.

No estudo de caso histórico desenvolvido nesta tese, a dicotomia entre fatores extrínsecos e intrínsecos à ciência é desfeita com o apoio da tese de Longino. No caso da descoberta equivocada dos elementos transurânicos por Enrico Fermi, é possível notar que apenas os valores cognitivos não foram suficientes para determinar a escolha teórica dos físicos nucleares e radioquímicos. Outros fatores, de natureza contextual, podem ter desempenhado papel essencial na preferência dos cientistas, o que teve sérios efeitos cognitivos na produção do conhecimento, tendo sido necessários cinco anos para resolver os problemas originários da interpretação da produção de transurânicos. A mesma subdeterminação de teorias por evidências se destaca no trabalho conjunto de Lise Meitner e Otto Hahn; neste segundo momento histórico, entretanto, o histórico de

colaboração e respeito mútuo, materializado, mesmo à distância, na igualdade de autoridade intelectual entre os dois cientistas, possivelmente facilitou a interdisciplinaridade fundamental para a compreensão do fenômeno da fissão nuclear. Este, que é o conteúdo físico por trás das bombas atômicas que findaram a Segunda Grande Guerra, vem sendo abordado, compreensivelmente, em pesquisas em educação científica por um viés bastante externalista. As análises históricas aqui providenciadas buscaram mostrar que, na própria concepção do fenômeno, fatores contextuais foram constitutivos e que, além das questões geopolíticas e bélicas, valores patriarcais e típicos do *ethos* da ciência também são latentes no cerne do conteúdo.

Outro valor que mostra as possibilidades futuras desta tese é sua fertilidade, aqui apontadas relativamente ao emergente tópico da diversidade e multiculturalismo na educação em ciências – notadamente no que concerne a inclusão e acesso das mulheres na educação e na carreira científica. A oposição entre homens e mulheres, tão antiga quanto o advento da agricultura e da propriedade privada, é o emblema da sociedade patriarcal que ainda está estabelecida. O resultado histórico dessa divisão foi o tardio acesso das mulheres a política, economia, educação, ciência e tecnologia (embora, com algumas exceções, as mulheres sempre tenham participado de modo coadjuvante em todas essas áreas). Ainda hoje, mais de cem anos do início da democratização desses acessos, as diferenças contingenciais entre homens e mulheres na ciência permanecem disparatadas (SCHIEBINGER, 2001).

Uma série de investigações vem apontando a importância da mudança dos materiais e abordagens metodológicas para evitar a evasão de mulheres e outras minorias sociais da ciência e da educação. A estrutura dos saberes escolares e sua dinâmica no sistema didático, supostamente neutros, privilegiam meninos brancos, que se vêm representados nas figuras do “cientista padrão”, homem e caucasiano. Essa (pretensa) neutralidade não é típica somente da ciência e da educação, mas também da linguagem (sobretudo das línguas latinas) e dos dispositivos imagéticos e audiovisuais da contemporaneidade. Assim, a contextualização histórica, com a apresentação de exemplos de mulheres cientistas – bem como das barreiras que elas tiveram que transpor para desempenharem o trabalho que desejavam – associada à problematização das supostas neutralidade e imparcialidade da ciência vêm sendo apontadas como estratégias educacionais imprescindíveis para que a lacuna entre participação masculina e feminina na ciência seja minimizada (BUCK et al, 2008; KAHVECI; SOUTHERLAND; GILMER, 2008; JOHNSON, 2007).

Uma possibilidade futura de pesquisa proveniente desta tese é a de desenvolver, implementar e avaliar unidades de ensino potencialmente significativas sobre fissão nuclear e valores para diferentes níveis de ensino com o intuito de promover o debate e a conscientização das disparidades entre homens e mulheres na ciência, personificadas nas histórias de vida e de trabalho de Irène Joliot-Curie, Ida Noddack e Lise Meitner. Inexoravelmente, é essencial que sejam associados, à filosofia da ciência aqui exposta, os enfoques teóricos feministas – que vêm sendo produzidos desde a Primavera dos Povos, em 1848, mas que têm sido pouco articulados com diversas áreas de conhecimento humano. Filosoficamente, Longino (1990) permite uma análise dos valores patriarcais na ciência; é preciso ir além e mostrar, a partir dos estudos feministas, a raiz e os objetivos da intrusão desses valores na ciência e na educação científica.

Naturalmente, um estudo deste tipo não pode ser executado na forma de estudo de caso; como aponta Moreira (2004), esta tendência microetnográfica da área é um dos motivos para a pouca eficiência da produção de conhecimentos de ensino de ciências na educação formal. Na verdade, a exigência de estudos de média e longa duração, com implementação na educação formal, revela um dos limites desta tese – que sinaliza, efetivamente, uma possibilidade futura de investigação. A precisão, ou adequação empírica, é desejável não apenas na ciência, mas também na educação científica. Neste trabalho, foi executado uma sondagem na forma de uma unidade de ensino potencialmente significativa que, a despeito de promover resultados animadores, de sua fertilidade e de seu alcance, ainda precisa ser mais desenvolvido, estudado, analisado, sob pena de se tornar, como mostra Almeida (2012) mais um trabalho com recomendações e prescrições pouco efetivas a professores.

### **Referências das Considerações Finais**

ACEVEDO, J. A.; VÁSQUEZ, A.; PAIXÃO, M. F.; ACEVEDO, P.; OLIVA, L. M.; MANASSERO, M. A. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 1, p. 1, 2015.

ALMEIDA, M. J. P. M. Meio século de educação em ciências: foco nas recomendações ao professor de física. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

BUCK, G. A.; CLARK, V. L. P.; LESLIE-PELECKY, D.; LU, Y.; CERDA-LIZARRAGA, P. Examining the cognitive processes used by adolescent girls and women scientists in identifying Science role models: a feminist approach. *Science Education*, v. 92, p. 688, 2008.

JOHNSON, A. C. Unintended consequences: how Science professors discourage women of color. *Science Education*, v. 91, p. 805, 2007.

KAHVECI, A.; SOUTHERLAND, S. A.; GILMER, P. J. From marginality to legitimate peripherality: understanding the essential function of a women's program. *Science Education*, v. 92, p. 33, 2008.

KRASILCHIK, M. Caminhos do ensino de ciências no Brasil. Em *Aberto*, ano 11, n. 55, jul-set 1992.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho.... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 1, p. 112, abr. 2007.

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, dez. 1995.

McMULLIN, E. Values in Science. In: NEWTON-SMITH, W. H. (ed). *A companion to the philosophy of Science*. Oxford: Blackwell Pub., 2000.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 94, mar. 2000.

MOREIRA, M. A. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. *Revista Chilena de Educación Científica*, v. 3, n. 1, p. 10, 2004.