

História da radioatividade em livros didáticos com complementações de aspectos sociais, políticos e de gênero da vida de Irène Joliot-Curie

History of radioactivity in textbooks with social, political and gender aspects of Irène Joliot-Curie's life

Larissa Cabral¹

Bruno Lima²

Luciana Massi³

Resumo

Ainda que a abordagem da História da Ciência (HC) em Livros Didáticos (LD) seja objeto de preocupação há bastante tempo, persistem limitações que merecem ser compreendidas e complementadas. O objetivo deste estudo foi identificar as abordagens historiográficas e filosóficas no conteúdo de radioatividade em LD e complementá-las a partir da história da radioatividade artificial descoberta por Irène Joliot-Curie e pautada em aspectos sociais, políticos e de gênero. Para desenvolver nossa análise criamos categorias *a priori* que orientaram a análise de seis LD aprovados no Programa Nacional do Livro Didático de 2018. Nossos resultados foram organizados e discutidos quanto à linearidade dos conceitos levando em conta o seu contexto histórico e sua contextualização social; a descrição dos personagens e sua imagem como heróis; e as referências, às fontes primárias e as secundárias. Para cada uma delas apontamos possíveis revisões e complementações dos LD visando melhorar a formação em Ensino de Ciências a partir da HC.

Palavras chave: Livros didáticos; história da radioatividade; Irène Joliot-Curie.

Abstract

Although the approach to the History of Science (HS) in Textbooks has been an object of concern for a long time, limitations persist that deserves to be understood and complemented. The objective of this study was to identify the historiographic and philosophical approaches in the content of radioactivity in Textbooks and complement them based on the history of artificial radioactivity discovered by Irène Joliot-Curie and based on social, political and gender aspects. To develop our analysis we created a priori categories that guided the analysis of six Textbooks approved in the 2018 National Textbook Program. Our results were organized and discussed regarding the linearity of the concepts taking into account their historical context and their social contextualization; the description of the characters and their image as heroes; and the references, the primary and secondary sources. For each one of them we pointed out

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Bauru | larissacabrallima@gmail.com

² Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Araraquara | brunolimagoncalves74@gmail.com

³ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Araraquara | luciana.massi@unesp.br

possible revisions and complementation of the Textbooks aiming to improve the training in Science Teaching from the HS.

Keywords: Textbooks; history of radioactivity; Irène Joliot-Curie.

Introdução

A presença da História e Filosofia da Ciência (HFC) nos currículos de ciências está prevista desde 1898 (HODSON, 2014). No Brasil, tanto os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) quanto a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) destacam a importância da contextualização histórica dos conteúdos visando ensinar não apenas os conceitos, mas o modo de produção do conhecimento científico. Embora seja objeto de questionamento, Matthews (1995, p. 172-173) aponta algumas vantagens da inserção da HFC:

(1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência – a Revolução Científica, o darwinismo etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem à ideologia cientificista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.

Loguercio e Del Pino (2006) destacam que a inserção da HFC nas aulas de ciências pode: contribuir para se usar o paralelismo entre as ideias dos estudantes e as presentes na história, embora essa sugestão tenha limites como os discutidos por Bizzo (1992); favorecer a seleção de conteúdos estruturantes das disciplinas considerando aspectos epistemológicos; extrair da história problemas significativos para o ensino; evidenciar a existência de grandes crises na ciência; mostrar o caráter hipotético e tentativo do conhecimento científico; mostrar a ciência como construção histórica e coletiva. Hidalgo e Lorencini Junior (2016, p. 19) destacam que apesar de existirem na literatura da área diversas recomendações para essa inserção poucos trabalhos discutem aspectos como: "(i) o que se compreende por História e Filosofia da Ciência; (ii) por que inserir a HFC no ensino? (iii) qual nível de ensino mais adequado para a inserção da HFC; e (iv) como inserir a HFC no processo de ensino e aprendizado".

Embora essas recomendações curriculares e suas vantagens sejam apontadas pela área de pesquisa, nem sempre observamos a presença de aspectos históricos e filosóficos no ensino de ciências. Loguercio e Del Pino (2006, p. 71) destacam, por exemplo, a abordagem do modelo atômico de Rutherford em livros didáticos como uma "leitura do fato científico simplificadora do arcabouço da construção do entendimento dos experimentos de Rutherford". Outros problemas que costumam ser citados na abordagem da HFC no ensino de ciências presente em livros didáticos são a "quasi-história", uma distorção na qual a narrativa ficcional prevalece sobre a história em função de aspectos ideológicos e da visão de ciências que o autor do livro pretendia divulgar (MATTHEWS, 1995; BALDINATO; PORTO, 2008); a "pseudo-história", uma simplificação da história menos danosa para o ensino de ciências (BALDINATO; PORTO, 2008); a "história Whig", que apresenta e analisa os episódios históricos com a perspectiva do presente, desconsiderando seu contexto de produção

(BALDINATO; PORTO, 2008); e a presença exclusiva de aspectos internalistas da história da ciência (biografias, anedotas, inventos técnicos) (LOGUERCIO; DEL PINO, 2006).

Por fim, alguns epistemólogos da ciência, como Kuhn e Feyerabend, também discutem as relações entre os livros didáticos e a natureza da ciência. Para Kuhn (1998), os livros tendem a construir uma visão de ciência infalível na medida em que apresentam uma história linear, em lugar de promoverem o contato com as obras originais, e mostram apenas a ciência aceita pela comunidade científica. O que além de refletir um currículo carregado de distorções sobre a natureza da ciência, contribui para a construção de visões deformadas sobre a ciência pelo aluno, já que “o LD tem dentro de suas funções ser uma referência curricular, oferecendo uma interpretação das normativas curriculares que chegam à aula [...], e participa da produção e alteração de significados” (CANDRAY, 2022, p. 22, tradução nossa).

Hidalgo e Lorencini Junior (2016, p. 28-29) apontam que o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) “tem contribuído para uma melhor inserção dos aspectos históricos e filosóficos em tais materiais”, uma vez que avalia e disponibiliza de forma gratuita obras didáticas, pedagógicas e literárias para escolas de Ensino Básico federal, estadual, municipal e distrital (BRASIL, 2018). Ainda que o PNLD de 2018, última edição antes da implementação da BNCC nas escolas públicas brasileiras, tenha passado por atualizações (BRASIL, 2018), Hidalgo e Lorencini Junior (2016) citando outros trabalhos, apontam que os livros ainda apresentam visões de ciências deformadas e mistificadas ou representam a única fonte de conhecimento historiográfico do professor, o que limita essa abordagem e também aponta para a importância da formação do professor.

Neste estudo nos concentramos no conceito de radioatividade e buscamos relações entre esse tema e a HFC presentes em livros didáticos (LD), a fim de categorizar seus conteúdos relacionados ao tema e de sugerir trechos históricos que possivelmente sanariam descontextualizações e distorções. Silva, Campos e Almeida (2013) realizaram um levantamento em periódicos nacionais e internacionais dos anos de 1990 a 2012, por meio de categorias desenvolvidas *a priori* sobre aspectos do ensino e aprendizagem de radioatividade. Apesar de terem afirmado que encontraram poucos trabalhos, as autoras identificaram duas tendências de pesquisa, isto é, os trabalhos sobre radioatividade são normalmente propostas de material didático ou proposta e análise de estratégias didáticas (SILVA; CAMPOS; ALMEIDA, 2013). Já Cordeiro e Peduzzi (2013) tratam do mesmo conteúdo curricular deste artigo, analisando e discutindo a descontextualização da radioatividade em LD de nível superior. Medeiros e Lobato (2010) analisam o conteúdo de radiação de LD de Química e Física e destacam a falta de ligação entre os conteúdos. Enquanto Guimarães e Castro (2019) propõem e aplicam uma sequência didática que envolve a radioatividade valendo-se da HFC, com a qual afirmam combaterem algumas concepções errôneas sobre a ciência, além de favorecerem a humanização do ambiente escolar, o trabalho em grupo e o diálogo entre os estudantes. Por fim, Fernandes e Campos (2016) analisam questões sobre radioatividade do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e afirmam que os resultados por eles obtidos demonstram a necessidade de um ensino mais contextualizado sobre este conteúdo.

Assim, este artigo tem como objetivo identificar as abordagens historiográficas e filosóficas no conteúdo de radioatividade em LD e complementar essas perspectivas a partir da história da radioatividade artificial descoberta por Irène Joliot-Curie pautada em aspectos sociais, políticos e de gênero. Ressaltamos a importância da abordagem da história dessa cientista com base em Hendges e Santos (2022), que defendem que Irène, filha de Marie Curie e também nobelista, tem pouquíssimo destaque em LD. Além disso, ainda que o

conteúdo de radioatividade artificial não seja abordado no nível médio, existem aproximações conceituais que poderiam ser exploradas e complementadas levando em conta os aspectos citados.

Nossa metodologia de análise envolveu a construção de categorias que apontassem para formas de inserção da HFC nos LD, as quais foram mobilizadas para interpretar os conteúdos presentes nos livros e fazer pesquisas sobre a história da radioatividade. Em seguida, organizamos os resultados do nosso estudo a partir dessas mesmas categorias, discutindo para cada uma delas os resultados encontrados nos livros e as possíveis complementações que poderíamos trazer por meio de uma história da radioatividade artificial pautada em aspectos sociais, políticos e de gênero. Nas conclusões apontamos nossos principais resultados e algumas implicações deste estudo para a área de pesquisa em Educação em Ciências, já que assim como Rezende e Silva (2021), destacamos a importância de auxiliar futuros e atuais professores de química a identificarem os problemas presentes nos LD para que façam uso consciente e crítico desse instrumento

Metodologia

Na primeira parte deste estudo, analisamos seis LD de Química do PNLD de 2018, dispostos no Quadro 1.

Quadro 1 – Livros que serão analisados

Autor	Nome Livro	Volume	Editora
CISCATO <i>et al.</i>	Química	3	Moderna
FONSECA	Química: Ensino Médio	1	Ática
FONSECA	Química: Ensino Médio	3	Ática
MORTIMER e MACHADO	Química: Ensino Médio	1	Scipione
LISBOA <i>et al.</i>	Ser protagonista: Química	2	Edições SM
NOVAIS	Vivá: Química	3	Positivo

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para organizar as categorias, realizamos um levantamento bibliográfico nas bases de dados do Portal de Periódicos CAPES e da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD). Ao final, seis trabalhos foram selecionados, dos quais cinco foram descartados – Medeiros e Lobato (2010); Silva, Campos e Almeida (2013); Cordeiro e Peduzzi (2013); Silva (2007) e Cordeiro (2011) – e apenas um foi utilizado, o de Oliveira (2019). A ele juntamos o trabalho de Trindade (2015), que foi indicado por um professor para melhor fundamentarmos as categorias de análise. Assim, aproveitamos as categorias semelhantes entre Oliveira (2019) e Trindade (2015) e organizamos novas categorias *a priori*.

Na categoria **Linearidade dos conceitos considerando seu contexto histórico** buscamos a visão de protociência, conceito que leva em conta que conhecimentos anteriores aos conhecimentos consolidados e tidos como verdadeiros são falsos e não contribuíram para o

avanço da ciência (TRINDADE, 2015). Isso nos permitiu analisar o processo de desenvolvimento das ideias científicas com cautela de forma a não cometermos anacronismos (TRINDADE, 2015).

Na categoria **Descrição dos personagens e sua imagem como heróis** abordamos as categorias evidenciadas por Trindade (2015) e Oliveira (2019), considerando que é comum na construção científica ser atribuído um personagem como o “pivô” de determinada descoberta. Esse fenômeno é também conhecido como História *pedigree*, “pois nela se procurava os pais da ciência e, quando possível, os avôs, bisavôs etc.” (ALFONSO-GOLDFARB, 1994, p. 12). Em seu trabalho Oliveira (2019) considera a categoria “Vida dos personagens e características dos personagens”, com a qual busca evidenciar como a descrição desses personagens é realizada, quais aspectos importantes aparecem e quais estão ocultos, visto que esses fatores são de extrema importância para o desenvolvimento de uma HC de qualidade. Portanto, nessa categoria abordamos como a figura dos personagens da construção do conhecimento científico é descrita nos LD, observando quais informações aparecem e em quais seções.

Na categoria **Referências, fontes primárias e secundárias** apresentamos as categorias de Oliveira (2019) que procuram a presença de fontes primárias e livros da HC para explicar o contexto histórico. Trindade (2015), por sua vez, defende ser fundamental o uso de fontes primárias para a construção da HC, evidenciando a importância de se ter cautela na seleção, pois devemos considerar todos os aspectos históricos, políticos, tecnológicos e religiosos vigentes à época, de forma a evitar fragmentações e traduções. Com isso, essa categoria buscou os usos de tais fontes, com a intenção de compreender sua aparição nos LD.

Na **Contextualização Social** abordamos a categoria “História da Ciência como adorno e estímulo”, proposta por Trindade (2015), que abrange a necessidade da contextualização dos conhecimentos científicos. Entretanto, o que se observa na maioria das vezes é que essa contextualização é realizada apenas para iniciar e finalizar a exposição dos conhecimentos científicos (OLIVEIRA, 2019), não fornecendo conexão entre os conceitos e os estudiosos que contribuíram na construção da ideia científica (TRINDADE, 2015). Baseando-nos em Gil Pérez e colaboradores (2001), notamos que a contextualização social realizada contribui para visões distorcidas da ciência, em específico a imagem de uma ciência descontextualizada e socialmente neutra. Nessa categoria evidenciamos como é realizada a contextualização nos LD, compreendendo sua importância para construir um conteúdo utilizando a HC.

Dessa forma, valendo-nos dessas categorias e de elementos diversos (fragmentos dos livros didáticos como parágrafos, *boxes* explicativos, ilustrações, fotografias dos cientistas, legendas de ilustrações e fotografias e modelos de experimentos), os quais podem estar presentes em mais de uma categoria desde de que seja possível fazer interpretações e relações coerentes entre eles, conseguimos analisar como é abordado o conteúdo de Radioatividade nos livros didáticos de Química do PNLD de 2018.

A segunda parte desta pesquisa teve um caráter descritivo de pesquisa bibliográfica e teórica, o que tornou necessária uma coleta de dados em fontes historiográficas. Para isso utilizamos fontes terciárias (MARTINS, 2005), ou seja, bases de dados nacionais e estrangeiras disponíveis *online* para pesquisas sobre história da ciência, como: *Current Bibliography*, *Library of Congress*, o Catálogo *British Library*, a Biblioteca Virtual *Gallica* e o Portal de Periódicos da Capes. Além disso, foram feitas buscas pelos temas HFC, Educação, Química e/ou Física em revistas de relevância na área, como *Foundations of Chemistry, Science & Education* e Química Nova na Escola. No que se refere às palavras-chaves utilizadas, empregamos o operador

booleano “AND” para pesquisar os termos “Irène” e “Curie”, de forma a evitar a variedade de trabalhos que envolvem o sobrenome Curie.

Assim feito, a seleção dos resultados priorizou trabalhos do período entre 1910 (quando Irène Joliot-Curie tinha entre 12 e 13 anos) e 1956 (ano da sua morte), com foco em fontes secundárias produzidas por historiadores da ciência, químicos, professores e autores relacionados à educação. De forma a evitar problemas de tradução de nossa parte foram selecionados trabalhos em inglês e português.

Essa seleção resultou em quinze trabalhos, os quais foram lidos na íntegra e posteriormente tiveram seus conteúdos organizados para que a trajetória da cientista fosse reconstruída linearmente, destacando datas e momentos relevantes da sua vida, com certo enfoque nas produções científicas, em uma linha do tempo e em texto, considerando os fatos pessoais, profissionais, culturais, sociais, econômicos e/ou políticos, visando captar a realidade imediata para construir interpretações do fenômeno.

Em um segundo momento, a pesquisa tornou-se explicativa para conectar as categorias descritas acima com partes da história da cientista. Por isso, tivemos:

como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas (GIL, 2002, p. 42-43).

Os fatores determinantes dos fenômenos da história estudada foram concentrados nas questões sociais, políticas e de gênero que envolviam a época de produção do conhecimento de interesse, buscando uma abordagem não-conceitual da ciência capaz de abranger fatores extracientíficos (LAVOURA; MARTINS, 2018). Lavoura e Martins (2018) destacam que é possível captar o real imediato (história reconstruída), convertê-lo em objeto de análise (ciência produzida por Irène Joliot-Curie) e apreendê-lo em categorias interpretativas e estruturas analíticas que permitirão a captação da sua totalidade (história da ciência).

Nesse momento foi necessário superar a ingenuidade nas análises e evitar críticas e/ou exaltação à cientista, por exemplo, para driblar o relativismo e vencer paradigmas tradicionais da historiografia (COLTURATO; MASSI, 2019). Considerando ainda que Irène é historicamente reconhecida, a análise permitiu perceber dois principais aspectos: a perspectiva de longa duração na sua história, o que a localiza na HC; e a atualidade da pesquisa histórica, que destaca sua importância nos dias atuais. Desse modo a contextualização da descoberta da radioatividade artificial permitiu que ela fosse melhor compreendida de forma que pudesse ser direcionada ao conteúdo historiográfico dos livros didáticos analisados.

Resultados e discussões

Nas análises realizadas nos LD do PNLD de 2018 observamos que na categoria “Linearidade dos conceitos considerando seu contexto histórico” os autores dos livros normalmente apresentam o conteúdo utilizando os anos de descobertas e os cientistas que contribuíram com estudos para descrever os avanços científicos. Na categoria “Descrição dos personagens e sua imagem como heróis” constatamos que os autores, ao citarem a primeira vez o cientista no capítulo, apresentam informações sobre ele como nome, ano de nascimento, ano de falecimento, formação e em alguns casos o país de origem ou de naturalização, sua contribuição e premiação. Já na categoria “Contextualização social”

observamos que os autores descrevem de forma resumida a contextualização histórica, normalmente inserida em forma de *boxes* informativos e apresentando apenas informações dos cientistas considerados “pivôs” da descoberta, limitando-se a informar o nome dos cientistas, como viviam, sua relação com o governo e os acontecimentos históricos. Por fim, na categoria “Referências, fontes primárias e secundárias” notamos que a contextualização histórica, quando realizada, se dá com base em fontes secundárias.

A seguir apresentamos os resultados, estruturados nas seguintes seções: 3.1 – Linearidade dos conceitos considerando seu contexto histórico e Contextualização social, na qual abordamos a forma como o conteúdo é organizado nos LD e fatos históricos que deveriam estar contidos neles; 3.2 – Descrição dos personagens e sua imagem como herói, na qual destacamos como os cientistas são citados nos LD e quais informações mais aparecem, apresentando em seguida trechos sobre a vida pessoal e científica de Irène Joliot-Curie; 3.3 – Referências, fontes primárias e secundárias, na qual evidenciamos as referências e fontes que normalmente aparecem nos LD, dissertando em seguida sobre a importância das fontes primárias.

Linearidade dos conceitos considerando seu contexto histórico e Contextualização social

Na categoria **Linearidade dos conceitos considerando seu contexto histórico** tiveram destaque os elementos que apresentaram duas ou mais datas. Na categoria **Contextualização Social** abordamos como os LD fazem a contextualização social-histórica ao longo do conteúdo. Contudo, como as categorias abordam características similares, os resultados serão expressos de forma conjunta. Destacamos a seguir trechos dos livros didáticos que se enquadram nessa categoria.

No trecho 1 listamos elementos relacionados à categoria **Linearidade dos conceitos considerando seu contexto histórico**:

A primeira transmutação artificial foi realizada em 1919 por Rutherford, que conseguiu obter oxigênio artificial bombardeando átomos de nitrogênio com partículas ${}^4_2\alpha$
[...]

A descoberta do nêutron por Sir James Chadwick (1891-1974), em 1932, ocorreu quando ele bombardeava placas de berílio com partículas ${}^4_2\alpha$
[...]

O casal de pesquisadores franceses Jean Frédéric Joliot-Curie (1900-1958) e Irène Joliot-Curie (1897-1956) produziu o primeiro isótopo radioativo artificial, o fósforo-30, bombardeando uma placa de alumínio-27 com partículas ${}^4_2\alpha$
[...]

Como o fósforo-30 desintegra-se por emissão de pósitrons, ${}^0_{+1}\beta$, **transformando-se em silício-30, a descoberta do pósitron ocorreu em 1932 quando Carl David Anderson (1905-1991) estudava a reação que fornece esse isótopo (FONSECA, 2016a, p. 275).**

No trecho 2 apresentamos um elemento associado à categoria **Contextualização social**:

De 1914 a 1918, Marie Curie, com sua filha Irène, se encarregou de equipar viaturas radiológicas, chamadas de “as pequenas Curies”, e de formar seu

pessoal para atuar no *front* da Primeira Guerra Mundial. Ela se envolveu por completo com o esforço de guerra de sua pátria de adoção ajudando em diversas frentes e equipando mais de duzentas salas de radiologia, nas quais foram atendidos mais de um milhão de feridos.

Depois da guerra, ela finalmente pode assumir o posto de Diretora do Laboratório de Física e Química do Instituto do Rádio, posto para o qual havia sido nomeada em 1914 e no qual manteve-se à frente até sua morte, em 1934. Durante esses anos ela percorreu vários países do mundo, inclusive o Brasil, que visitou em 1928. Sua morte foi causada por leucemia, contraída nos heróicos anos de pesquisa com as substâncias radioativas (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 145).

Observamos que os autores dos LD apresentam os conteúdos científicos a partir dos anos de descobertas e do avanço do conhecimento científico, indicando os seus principais resultados. Porém os LD não contemplam informações sobre os resultados insuficientes, as hipóteses e as tentativas dos cientistas e a contextualização histórico-social, o que deixa o conteúdo fragmentado. Embora saibamos da limitação do número de páginas e de conteúdos que devem conter os LD, consideramos que algumas informações são essenciais para entender o conteúdo abordado.

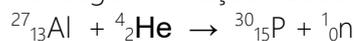
Assim, buscando contribuir com ajustes a essa visão linear, já que as descobertas muitas vezes são concomitantes ou fora da ordem cronológica, demonstrar o valor de tentativas colaborativas na produção do conhecimento e também oferecer conteúdo para ser incluído nas aulas, descrevemos a seguir detalhes que podem complementar essa história.

Walther Bothe e Hans Geiger descobriram em 1930 que os elementos boro e berílio bombardeados por partículas alfa de Polônio emitiam uma radiação de baixa intensidade, porém mais penetrante do que os raios gama (BLACKETT, 1960), que acreditavam ser ondas curtas de raios X duros (GILMER, 2011). Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie também notaram essa misteriosa radiação e resolveram estudá-la bombardeando berílio (Be) com as emissões radioativas provenientes de uma fonte de polônio (Po), devidamente protegidos por telas de chumbo (Pb) e madeira (BLACKETT, 1960). Eles encontraram a mesma radiação energética identificado por Bothe e Geiger, capaz de rapidamente atingir um fino pedaço de parafina (rica em hidrogênio ligado a átomos de carbono) e os núcleos dos hidrogênios (H) que por sua vez eram ejetados da parafina (GILMER, 2011).

Os Joliot-Curies alegaram que essas ondas curtas de raios X eram fótons energéticos, mas se perderam nas explicações ao calcularem que seria necessária uma energia de 50 milhões de elétron-volts para tal fenômeno (BLACKETT, 1960). Embora Frédéric e Irène tenham fornecido pistas para o descobrimento do nêutron (n) (CHADWICK, 1956), foram James Chadwick e Ernest Rutherford que demonstraram que os nêutrons (n) eram partículas subatômicas sem carga, sendo laureados pelo Nobel de Física em 1935 (GILMER, 2011). Além disso, os Joliot-Curies não conseguiram interpretar o movimento das partículas carregadas na câmara de nuvem de Wilson, embora suas experiências tenham fornecido a prova da existência de pósitron (p) (BLACKETT, 1960). Carl D. Anderson e Victor Hess o descobriram oficialmente em 1932 por meio do estudo dos raios cósmicos que interagem com uma placa de chumbo (Pb) na presença de um campo magnético, o que os levou a ganhar o prêmio Nobel de Física em 1936 (CROSSFIELD, 1997).

Em 1933 o casal mediu com precisão a massa do nêutron (n) por meio da transmutação do boro (B) (BLACKETT, 1960; GILMER, 1997). Eles retomaram as modificações dos seus

instrumentos e ao bombardearem o alumínio (Al- número atômico 13) com raios alfa emitidos por polônio (Po) em decomposição radioativa observaram que os pares elétrons/pósitrons estavam ausentes e que prótons foram detectados. Observaram ainda o fósforo radioativo (P - número atômico 15) e um nêutron (n) (GILMER, 1997), isótopo de fósforo (P) que era inédito, já que não estava na sua forma natural, mas, sim, uma configuração artificial, produzida por meio da seguinte reação nuclear (JOLIOT, 1935, p. 2):



A reação nuclear seguinte, por sua vez, apresentou um pósitron (p) de massa zero e uma carga positiva, ejetado do isótopo de fósforo, levando a silício estável (Si - número atômico 14) (JOLIOT, 1935):



Ainda de acordo com Joliot, na medida em que um pósitron (p) é eliminado, um próton no fósforo torna-se um nêutron (n), no caso, de fósforo (P) com 15 prótons para silício (Si) com 14 prótons, com massa constante de 30. Portanto, na série das duas reações nucleares, o alumínio (Al) converte-se em silício (Si) estável com liberação de um nêutron (n) no primeiro passo e de um pósitron (p) no segundo (JOLIOT, 1935). Isso é transmutação de elementos, já que partindo de um elemento, o alumínio (Al), forma-se um isótopo radioativo e artificial de fósforo (P), chegando ao silício estável (Si) (JOLIOT, 1935).

Esse exemplo serve para mostrar que a história fornece elementos relacionados à tentativa e erro e ao caráter coletivo da produção da ciência que poderiam aparecer, ainda que de forma breve, nos LD.

Em relação à contextualização histórico-social destacamos a importância de tê-la explícita e não apenas ilustrativa. O contexto descrito deve aproximar o conhecimento do cotidiano do aluno e da sociedade em que ele vive ou introduzi-lo no ato da descoberta. Nesse caso, a contextualização da Primeira Guerra Mundial observada em Mortimer e Machado (2016) localiza a radioatividade em relação ao seu papel na guerra, uma questão social mais ampla. Já o trecho que aborda o processo de descoberta da radioatividade artificial de Irène e Frédéric cria condições para que o aluno experimente a curiosidade e o encantamento da descoberta. Mesmo já possuindo essas características, o contexto social de guerras poderia ser melhor explorado em sua relação com a ciência, uma vez que envolve conteúdos aptos a tratar questões econômicas do sistema em que estão inseridas as descobertas.

Assim como Marie e Pierre, Frédéric e Irène não patentearam a radioatividade artificial, mas ao contrário deles sentiram o peso da responsabilidade social e política que suas descobertas tinham. Fred passou a prever reações radioativas em cadeia, de caráter explosivo, alertando sobre a possível má utilização da liberação de energia atômica, levando em conta, segundo Bernal (1969), que em um período entre guerras (Primeira e Segunda Guerra Mundial) o sistema capitalista passou a se envolver diretamente com a ciência, mais do que o usual, tendo como objetivo o desenvolvimento de armas. Portanto, por já terem vivenciado uma guerra, ambos tinham consciência da influência que cientistas e seus trabalhos poderiam sofrer e tentavam manter a responsabilidade científica em relação ao progresso e à boa utilização de resultados (BERNAL, 1969).

Descrição dos personagens e sua imagem como herói

Na categoria **Descrição dos personagens e sua imagem como herói** analisamos como os cientistas são mencionados nos livros didáticos. A seguir, apresentamos exemplos de como aparecem as informações dos cientistas nos LD:

No início do século XX, cientistas orientados pelo físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) (CISCATO; PEREIRA; CHEMELLO; PROTI, 2016, p. 99).

Em 1934, a filha de Marie Curie, a também cientista Irène Joliot-Curie (1897-1956), e seu marido, Frédéric Joliot (1900-1958) (CISCATO; PEREIRA; CHEMELLO; PROTI, 2016, p. 100).

Irène Joliot-Curie, filha de Marie e Pierre Curie, recebeu o Nobel de Química em 1935 pela descoberta da radiação artificial. Ela e o marido, também cientista, tiveram papel importante não apenas na ciência, mas político: durante a Segunda Guerra Mundial, atuaram na resistência francesa contra a ocupação nazista e na proteção de cientistas. Além disso, temendo que conhecimentos sobre a fissão nuclear tivessem uso militar, durante a guerra deixaram de fazer publicações sobre o assunto e guardaram todos os dados sobre fissão nuclear nos cofres da Academia Francesa de Ciência, de onde só foram retirados em 1949. Como acontecera com sua mãe, o trabalho com o polônio custou a saúde de Irène, e ela morreu de leucemia em 1956 (NOVAIS, 2016, p. 28).

Encontramos nos livros de Ciscato, Pereira, Chemello e Proti (2016), Fonseca (2016a), Mortimer e Machado (2016), Fonseca (2016b), Lisboa, *et. al.* (2016) e Novais (2016) informações dos cientistas tais como a formação e/ou profissão, o nome, o país de origem, o ano de nascimento e de falecimento. Uma vez que as informações mencionadas nos LD são básicas para inserir esses cientistas na sociedade como cidadãos, entendemos que elas podem contribuir para as visões distorcidas da ciência. Já as informações sobre a vida pessoal e acadêmica aparecem apenas para cientistas considerados “pivôs”, conforme classificação de Trindade (2015) e Alfonso-Goldfarb (1994).

Irène Joliot-Curie é constantemente associada a seus pais e a seu marido, tendo seus interesses e feitos direcionados para tais relações, como no trecho observado em Novais (2016, p. 28), no qual a única descrição que precede seu Nobel é o fato de ser filha de Marie e Pierre. Além disso, ela tem sua atuação associada à resistência francesa na Segunda Guerra Mundial, quando na verdade foi uma atividade exercida apenas por Frédéric. Vale também destacar que os cientistas são constantemente descritos apenas por seus anos de nascimento e morte e pela cidade natal, dados que são importantes para localizá-los historicamente, mas que sozinhos não cumprem esse papel. Por isso, informações de datas e locais devem ser acompanhadas por explicações que abarquem questões mais amplas, como por exemplo aspectos sociais e políticos. Desta forma, para além das datas, privilégios familiares e escolhas amorosas, Irène tem particularidades a serem destacadas como as informações que apresentaremos a seguir.

Irène, nascida na França, sofreu forte influência de sua posição familiar na sua relação com a sociedade, já que seu convívio com a mídia aconteceu desde cedo, através dos pais Marie Curie e Pierre Curie. Em relação aos estudos e às pesquisas ela usufruiu de condições privilegiadas, considerando sua educação formal diferenciada e seu acesso direto ao Instituto

Radium, o que a ajudou na carreira profissional. Depois de formada na Universidade de Sorbonne ela iniciou o doutorado e seguiu pelo restante da carreira no Instituto, no qual, com o marido e parceiro profissional Frédéric Joliot, ela deu andamento à pesquisa sobre a radioatividade artificial que produziu um isótopo artificial radioativo do fósforo, e também a outras pesquisas em colaboração com outros cientistas da época.

No que diz respeito às questões políticas, as duas guerras mundiais a impactaram de formas diferentes: a primeira com uma participação ativa e a segunda com implicações decorrentes de seu posicionamento político e das ações do marido. Além disso, o interesse na fabricação de armas atômicas se mostrou como um facilitador para o desenvolvimento da sua pesquisa, já que se tratava de radioatividade e exigia sua participação na maior parte das atividades nucleares da França. Entretanto, essa influência no trabalho científico também a afetou negativamente, já que por conta do conflito com a Alemanha as descobertas científicas francesas muitas vezes precisavam ser protegidas ou publicadas rapidamente, antes das alemãs. Mas o pós-guerra também atrapalhou o final da sua carreira, já que seus posicionamentos externos à ciência, relacionados ao feminismo e ao comunismo, durante a ascensão dos EUA, custaram-lhe participações em eventos e até associações em periódicos.

É de se ressaltar que é frequente a pouca importância dada à trajetória de mulheres presentes em contextos majoritariamente masculinos. Ainda assim, mesmo Irène sendo nobelista e engajada no meio científico da época, ela foi uma das poucas mulheres reconhecidas nessa profissão, com posição de destaque em relação aos feitos femininos na HC. Entretanto notamos o desprestígio das suas produções, uma vez que os relatos a seu respeito se mostram dependentes da história do marido e dos pais. Esse cenário também romantiza seu cansaço e esforço para conquistar o que a ela deveria ser atribuído naturalmente, ao mesmo tempo que a descreve como fria e severa em um movimento de aproximá-la de características socialmente ditas masculinas.

Referências, fontes primárias e secundárias

Na categoria **Referências, fontes primárias e secundárias** analisamos como são abordadas as referências e quais fontes aparecem para tratar da construção histórica. Denominamos referências a bibliografia consultada para a explicação do conteúdo químico. As fontes consultadas para a construção histórica podem ser divididas em fonte primária e secundária. A seguir, destacamos exemplos de referências e fontes.

No LD de Ciscato, Pereira, Chemello, Proti (2016), abordou-se a referência: TRO, N. J. **Chemistry: a molecular approach**. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 2011, p. 883. No livro de Novais (2016) temos a fonte: HOBBSAWM, Eric. **Era dos extremos o breve século XX**. Trad. Marcos Santarrita. São Paulo: Companhia das Letras, 1995, p. 224. No livro de Fonseca (2016a) observa-se a fonte: MARTINS, R. de A. Como becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: Ed. da UFSC, n. 7, p. 27-45, jun. 1990.

Nos LD de Ciscato, Pereira, Chemello e Proti (2016), Fonseca (2016a), Mortimer e Machado (2016), Fonseca (2016b), Lisboa, *et. al.* (2016) e Novais (2016) as referências utilizadas para o conteúdo químico são livros didáticos do Ensino Superior, artigos ou buscas realizadas na *internet*, observado que as fontes que mais aparecem são as secundárias.

Para fazer uso da HFC as fontes se mostram de grande importância, visto que é através delas que a história é retomada e analisada, o que faz com que os resultados do seu uso dependam diretamente das suas características. Martins (2005) destaca a importância do uso de fontes primárias para estudos históricos e seus usos, levando em conta que as secundárias

estão sujeitas a interpretações dos historiadores, dando abertura para opiniões sobre o objeto real e até para distorções.

No caso de Irène, percebemos uma predominância de registros históricos feitos por homens, acarretando certa romantização da prática científica (neutralidade e busca por uma verdade absoluta) e um constante uso de termos e expressões sugestivas que denotam preconceitos de gênero, situações essas que precisaram ser filtradas e remanejadas para que as análises seguissem um viés mais preciso e, ao mesmo tempo, crítico. De acordo com Wedge e Williams (1996), esse é um problema na abordagem dos fatos e suas análises, pois os que as fazem são os próprios sujeitos privilegiados da divisão sexual da sociedade, no caso, os homens. O que acontece é que, estando envolvidos em situações sociais parecidas com as que estão sendo relatadas, há uma dificuldade de explicar os privilégios e influências que as causam, fazendo com que outros personagens fiquem marginalizados ou até ausentes. De acordo com esses autores, “embora tenham se concentrado seletivamente no mundo largamente masculino [...], a predominância dos homens não foi notada. Além disso, não conseguiram ver o envolvimento das mulheres” (1996, p. 16, tradução nossa).

Conclusão

Este estudo teve como objetivo identificar as abordagens historiográficas e filosóficas no conteúdo de radioatividade em LD e complementar essas perspectivas a partir da história da radioatividade artificial descoberta por Irène Joliot-Curie, pautada em aspectos sociais, políticos e de gênero. Por meio de um breve levantamento bibliográfico identificamos que a abordagem da HC em LD, embora seja objeto de preocupação há bastante tempo, ainda apresenta limitações que merecem ser compreendidas e complementadas. Em nossa pesquisa propusemos complementações a partir da radioatividade artificial descoberta por Irène Joliot-Curie pelo fato de ela ser pouco destacada em LD e também por existirem aproximações conceituais relacionadas à radioatividade artificial que poderiam ser exploradas e complementadas, ainda que esse conteúdo não seja abordado no nível médio.

Para desenvolver nossa análise criamos categorias *a priori* que orientaram a análise de seis LD aprovados no PNLD de 2018. Nossos resultados foram organizados e discutidos nas seguintes temáticas: Linearidade dos conceitos considerando seu contexto histórico e contextualização social, na qual evidenciamos que nos LD o conteúdo é organizado com lacunas, uma vez que não explicitadas as tentativas e erros como mostra o episódio histórico da experiência de Irène; Descrição dos personagens e sua imagem como herói, na qual destacamos como os cientistas são citados nos LD e quais informações são mais divulgadas e, em seguida, apresentamos dados sobre a vida pessoal e científica de Irène Joliot-Curie que explicitam aspectos sociais, políticos e de gênero que não costumam ser abordados nos LD; e Referências, fontes primárias e secundárias, na qual indicamos a baixa presença de fontes primárias bem como os possíveis vieses que as abordagens historiográficas relacionadas à Irène apresentam, por exemplo, em relação às questões de gênero.

Entendemos os limites de conteúdo e de extensão aos quais os LD estão submetidos, porém acreditamos que a complementação de alguns aspectos históricos e as mudanças nas descrições das abordagens historiográficas seriam importantes para ampliarmos a formação de educação em ciências com aspectos de HC.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica concedida ao projeto.

Referências

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O que é história da ciência**. 1. ed. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2008.
- BERNAL, J. D. **Ciência na História**. [S. l.]: Livros Horizonte, v. 4, p. 695-879, 1969.
- BIZZO, N. M. V. **Em Aberto, Brasília**, ano 11, no 55, jul./set., p. 28-35, 1992.
- BLACKETT, P. M. S. **Jean Frédéric Joliot. 1900-1958**. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, The Royal Society, vol. 6, p. 87-105, 1960. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/769335>. Acesso em: 3 nov. 2022.
- BRASIL. **Ministério da Educação**. PNLD. [2018]. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=668id%3D12391option%3Dcom_contentview%3Darticle. Acesso em: 11 jul. 2022.
- CANDRAY, J. Análisis de libros didácticos de Matemática en El Salvador: una mirada al uso de la historia de la matemática en los libros oficiales de bachillerato. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 18, p. 19-38, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v18i41.13617>
- CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F.; CHEMELLO, E.; PROTI, P. B. **Química**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2016.
- CHADWICK, J. **Mme. Irène Joliot-Curie**. Nature Publishing Group, Revista Nature, v. 177, n. 4517, p. 964-965, mai. 1956.
- COLTURATO, A. R.; MASSI, L. **Aportes teóricos e metodológicos para a História da Ciência com base no Materialismo Histórico-Dialético**. Germinal: Marxismo e Educação em Debate, Salvador, v. 11, n. 3, p. 170-180, dez. 2019.
- CORDEIRO, M. D. **Dos Curie a Rutherford: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica**. 2011. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/95575/294038.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 de mai. 2022.
- CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. **Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 3, 2013. ISSN 1806-9126. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300027>.
- CROSSFIELD, E. T. **Irène Joliot-Curie: Following in Her Mother's Footsteps**. In: RAYNER-CANHAM, M. F.; MARELENE F. RAYNER-CANHAM, G. W. A Devotion to their Science: Pioneer Women of Radioactivity. McGill-Queen's University Press, 1997.

FERNANDES, L. dos S.; A. F. Análise das questões sobre radioatividade no Exame Nacional do Ensino Médio - ENEM. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 13, p. 62-74, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v13i25.3437>

FONSECA, M. R. M. **Química: ensino médio**. v. 3. 2. Ed. São Paulo: Ática, 2016a.

FONSECA, M. R. M. **Química: ensino médio**. v. 2. 2. Ed. São Paulo: Ática, 2016b.

GIL-PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. **Para uma imagem não deformada do trabalho científico**. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 7, n.2, p. 125-153. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/DyqhTY3fY5wKhzFw6jD6HFJ/>. Acesso em: 15 de mai. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-224.3169-8

GILMER P. J. **Irène Joliot-Curie, a Nobel Laureate in Artificial Radioactivity**. In: CHIU, M. H.; GILMER, P. J.; TREAGUST, D. F. Celebrating the 100th Anniversary of Madame Marie Skolodowska Curie's Nobel Prize in Chemistry. Sense Publishers, 2011.

GUIMARÃES, L. P.; CASTRO, D. L. **A História e Filosofia da Ciência como subsídio para uma estratégia didática sobre radioatividade**. *Research Society and Development*, v. 8, n. 1, p. e4281674, 2019. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/674>. Acesso em: 15 set. 2022.

HENDGES, A. P. B.; SANTOS, R. A. **Obstáculos epistemológicos em livros didáticos de Física: o gênero na Ciência-Tecnologia**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 39, n. 2, p. 584-611, ago. 2022.

HIDALGO, M. R.; LORENCINI JUNIOR, A. **Reflexões sobre a inserção da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências**. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, v. 14, p. 19-38, 2016.

HODSON, D. **Nature of science in the science curriculum: origin, development, implications and shifting emphases**. In: MATTHEWS, M. (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Springer, Dordrecht, p. 911-970, 2014.

JOLIOT, F. **Chemical evidence of the transmutation of elements**. In: PRÊMIO NOBEL, 1935, Estocolmo. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/joliot-fred/lecture/>. Acesso em: 20 out. 2022.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1998.

LAVOURA, T. N.; MARTINS, L. M. **Materialismo histórico-dialético: contributos para investigação em educação**. *Educar em Revista*, Curitiba, v. 34, n. 71, p. 223-239, set./out. 2018.

LISBOA, J. C. F. ; *et. al.* **Ser protagonista: Química**, 2º ano. 3. Ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

LOGUERCIO, R. Q.; DEL PINO, J. C. **Filosofia da Ciência para a construção do conhecimento científico em contextos de formação profissional da química**. *Acta Scientiae*, v. 8, n. 1, p. 67-77, 2006.

MARTINS, R. de A. **Como becquerel não descobriu a radioatividade**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis: Ed. da UFSC, n. 7, p. 27-45, jun. 1990.

- MARTINS, L. A. P. **História da Ciência: objetos, métodos e problemas**. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p.305-317, 2005.
- MATTHEWS, M. **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, no 3, p. 164-214, 1995.
- MEDEIROS, M. de A.; LOBATO, A. C. **Contextualizando a abordagem de radiações no ensino de química**. *Ensaio*, v. 12, n. 3, p. 65-84, 2010.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química: ensino médio**. 3. Ed. São Paulo: Scipione, 2016.
- NOVAIS, V. L. D. ; ANTUNES, M. T. **Vivá: química**. v 3. Curitiba: Positivo, 2016.
- OLIVEIRA, U. L. de. **Abordagem da Radioatividade nos livros didáticos de Química do PNLD 2015-2018**. 2019. Dissertação - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3481>. Acesso em: 15 de mai. 2022.
- REZENDE, B. de P.; SILVA, A. C. A. da. Análise dos roteiros de atividades experimentais nos livros didáticos de Química: um estudo das representações e dos níveis do pensamento químico. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 17, p. 46-60, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v17i39.10526>
- SILVA, F. C. V. da; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. de. Alguns aspectos do ensino e aprendizagem de radioatividade em periódicos nacionais e internacionais. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 10, p. 46-61, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v10i19.2185>
- SILVA, G. J. da. **A epistemologia-em-uso: imagens de ciência em livros didáticos de química**. 2007. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FAEC-85JJ22/1/dissertacao_geraldo_final.pdf. Acesso em: 15 de mai. 2022.
- TRINDADE, A. P. P. **Análise de artigos na interface entre História da Química e Ensino (1994-2014): alguns aspectos historiográficos**. 2015. Dissertação - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2015.
- WEDGE, D.; WILLIAMS, R. **The Social Shaping of Technology**. *Research Policy*, Rio de Janeiro, v. 25, p. 856-899, 1996. DOI 10.1016/0048-7333(96)00885-2. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222482133_The_Social_Shaping_of_Technology. Acesso em: 10 nov. 2022.