

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a parti de 05/03/2026.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Câmpus Bauru - SP

LARISSA CABRAL LIMA

TRAJETÓRIA PESSOAL E CIENTÍFICA DE IRÈNE JOLIOT-CURIE
E SUA INSERÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA HISTÓRICO-
CRÍTICA

Bauru
2024

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Câmpus Bauru - SP

LARISSA CABRAL LIMA

TRAJETÓRIA PESSOAL E CIENTÍFICA DE IRÈNE JOLIOT-CURIE
E SUA INSERÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA HISTÓRICO-
CRÍTICA

Dissertação de mestrado apresentada à
Faculdade de Ciências da Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Bauru,
Programa de Pós-Graduação em Educação para
a Ciência como requisito para obtenção do
título de Mestre em Educação para a Ciência.

Orientadora: Prof^{fa} Dr^a Luciana Massi

Linha de pesquisa: História, Filosofia e
Sociologia da educação

Bolsa: CAPES

Bauru
2024

L732t Lima, Larissa Cabral

 Trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie e sua inserção
na Educação Química Histórico-Crítica / Larissa Cabral Lima. --
Bauru, 2024
 112 p.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências, Bauru
 Orientadora: Luciana Massi

 1. História da Química. 2. Irène Joliot-Curie. 3. Mulher na Ciência.
4. Ensino de Química. 5. Pedagogia Histórico-Crítica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Câmpus Bauru - SP

LARISSA CABRAL LIMA

TRAJETÓRIA PESSOAL E CIENTÍFICA DE IRÈNE JOLIOT-CURIE E SUA
INSERÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA HISTÓRICO-CRÍTICA

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência.

Orientadora: Prof^a Dr^a Luciana Massi

Linha de pesquisa: História, Filosofia e Sociologia da educação

Bolsa: CAPES

Data da defesa: 4 de março de 2024

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientadora: Professora Doutora Luciana Massi

Departamento de Educação, Faculdade de Ciências e Letras, UNESP, Araraquara.

Membro Titular: Professora Doutora Letícia dos Santos Pereira

Departamento de Química Geral e Inorgânica, UFBA, Salvador.

Membro Titular: Professor Doutor Rafael Moreira Siqueira

Departamento de Química Geral e Inorgânica, UFBA, Salvador.

Local: Banca remota.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LARISSA CABRAL LIMA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 04 dias do mês de março do ano de 2024, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LARISSA CABRAL LIMA, intitulada **Trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie e sua inserção na Educação Química Histórico-Crítica**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Assoc. LUCIANA MASSI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências e Letras - Unesp Araraquara, Prof. Dr. RAFAEL MOREIRA SIQUEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Química Geral e Inorgânica / Universidade Federal da Bahia, Profa. Dra. LETÍCIA DOS SANTOS PEREIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Química Geral e Inorgânica / Universidade Federal da Bahia. Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: __ __ _ aprovada __ __ __. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Assoc. LUCIANA MASSI

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA MASSI
Data: 04/03/2024 15:56:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe, Anissa, à minha avó, Venerina, e à minha tia, Patrícia, as pessoas que me deram a vida, que me inspiraram desde o início desta pesquisa e nas quais eu me vejo todos os dias por sermos todas, mulheres.

Agradeço ao meu irmão, Gabriel, e ao meu padrasto, Gustavo, pela companhia que me faz compreender o significado de ter um lar: apoio que permite criar asas para ir com a segurança de ter para onde voltar.

Agradeço ao meu namorado, amigo e confidente, Vitor, que me permitiu falar diversas vezes sobre os rumos desta pesquisa e sempre me encorajou a me manter firme aos meus ideais.

Agradeço aos meus colegas do grupo de pesquisa, Rafaela, Gabriela, Bruno, Giovana, Fernanda, Lucas B., Andriel, Carlos H., Carlos M., Lucas N. e Thiago, que compartilharam comigo seus conhecimentos e experiências, mas também seus lares e conversas fiadas.

Agradeço à minha orientadora, Luciana, que me apresentou ao universo acadêmico e me deu condições para transformar minhas inquietações pessoais em temas de pesquisa.

Agradeço aos professores membros da banca examinadora da qualificação e da defesa, Letícia, José Otávio e Rafael, que dispuseram de seu tempo e espaço para contribuir com esta pesquisa.

Agradeço, por fim, às instituições que permitiram a realização deste mestrado: a Faculdade de Ciências de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e o Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência pela estrutura e apoio administrativo, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento.

“A caça às bruxas nunca terminou, mas as
mulheres também nunca deixaram de resistir.”
(Silvia Federici)

RESUMO

Os estudos sobre a relação entre as questões de desigualdade de gênero e a ciência encontram-se em desenvolvimento no país desde a década de 1980. Tal relação tem se dado de diferentes formas e as pesquisas sobre trajetórias de cientistas com análises que utilizam categorias específicas da área surgiram nos últimos anos. O efeito Camille Claudel é uma dessas categorias que permitem discutir carreiras de mulheres sob a influência de maridos que trabalham na mesma área. Essa linha de pesquisa também apresenta poucos estudos que utilizam perspectivas críticas. Por isso, nesta pesquisa foi adotada uma concepção de história marxista, que explicita os movimentos históricos e filosóficos na realidade humana para analisar a trajetória de Irène Joliot-Curie, reconstruída por meio de fontes primárias e secundárias. Trata-se de uma mulher na ciência, reconhecida historicamente pelo seu trabalho com a radioatividade artificial, porém subalternizada aos pais cientistas e ao marido, também cientista, o que faz emergir questões de gênero e ciência por meio da contextualização da sua carreira perante aspectos históricos, econômicos e científicos. Com base no Materialismo Histórico e Dialético, o método marxista de interpretação da realidade, a categoria trabalho foi mobilizada para captar as singularidades da carreira de Irène, acarretando discussões sobre a alienação presente no seu exercício científico. Também foi investigado o conhecimento científico produzido por seu principal trabalho, premiado pelo Nobel de química de 1935, discutindo interpretações filosóficas que colaboraram para uma compreensão em direção à essência do fenômeno em questão. A fim de concretizar os resultados apresentados, explorou-se o uso de história da ciência no ensino de ciências por meio da Pedagogia Histórico-Crítica, uma perspectiva pedagógica coerente com os ideais marxistas presentes no trabalho. Assim, com as discussões sobre a história, pôde-se apresentar a radioatividade como conteúdo escolar e destacar a importância do seu ensino por tratar-se de um entendimento erudito da matéria. Quanto à estratégia didática buscou-se apropriar-se da ferramenta de narrativas históricas, que trabalha o ensino de aspectos de natureza da ciência, podendo abranger as questões de gênero, juntamente com o conteúdo curricular, no caso o de radioatividade, para coincidir com o trabalho da cientista. Desta forma, uma narrativa histórica voltada para o ensino médio foi produzida a fim de propor uma implicação didática para a história estudada e discutir a importância desse conteúdo. Desse modo, foi possível discutir características específicas da trajetória de Irène Joliot-Curie a partir de discussões de gênero e do seu próprio trabalho, que foi tratado histórica e filosoficamente, apresentando aspectos que destacam a importância do conhecimento produzido e permitindo uma proposição didática para o ensino do mesmo.

Palavras-chave: História da Química; Irène Joliot-Curie; Mulher na Ciência; Ensino de Química; Pedagogia Histórico-Crítica.

ABSTRACT

Studies on the relationship between issues of gender inequality and science have been underway in Brazil since the 1980s. This relationship has taken different forms and research into the careers of scientists has emerged in recent years using specific categories. The Camille Claudel effect is one of these categories that make it possible to discuss women's careers under the influence of husbands working in the same field. This line of research also has few studies that use critical perspectives. For this reason, this research has adopted a Marxist conception of history, which makes historical and philosophical movements in human reality explicit, in order to analyze the career of Irène Joliot-Curie, reconstructed through primary and secondary sources. This is a woman in science, historically recognized for her work with artificial radioactivity, but subordinated to her scientist parents and her husband, also a scientist, which brings up questions of gender and science through the contextualization of her career in terms of historical, economic, and scientific aspects. Based on Historical and Dialectical Materialism, the Marxist method of interpreting reality, the category of work was mobilized to capture the singularities of Irène's career, leading to discussions about the alienation present in her scientific practice. We also investigated the scientific knowledge produced by her main work, which won the Nobel Prize for chemistry in 1935, discussing philosophical interpretations that contributed to an understanding of the essence of the phenomenon in question. To materialize the results presented, the use of the history of science in science teaching was explored through Historical-Critical Pedagogy, a pedagogical perspective consistent with the Marxist ideals present in the work. Thus, with the discussions on history, it was possible to present radioactivity as school content and highlight the importance of teaching it because it is a scholarly understanding of the subject. As for the didactic strategy, we sought to use the tool of historical narratives, which works to teach aspects of the nature of science, and can cover gender issues, together with the curriculum content, in this case radioactivity, to coincide with the work of the scientist. In this way, a historical narrative aimed at secondary education was produced to propose a didactic implication for the history studied and to discuss the importance of this content. In this way, it was possible to discuss specific characteristics of Irène Joliot-Curie's career based on discussions of gender and her own work, which was treated historically and philosophically, presenting aspects that highlight the importance of the knowledge produced and allowing a didactic proposal for teaching it.

Keywords: History of Chemistry; Irène Joliot-Curie; Women in Science; Chemistry Teaching; Historical-Critical Pedagogy.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	9
2. INTRODUÇÃO.....	14
3. METODOLOGIA.....	22
3.1 Estudo 1: A retomada da historiografia e as questões de gênero.....	23
3.2 Estudo 2: O materialismo histórico e dialético	25
3.3 Estudo 3: As implicações didáticas.....	28
4. ESTUDO 1: IRÈNE JOLIOT-CURIE E A RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL	33
4.1 Irène Joliot-Curie	35
5. ESTUDO 2: ANÁLISE MATERIALISTA, HISTÓRICA E DIALÉTICA	56
5.1 Referencial teórico	57
5.1.1 A categoria trabalho e a primeira lei da dialética	58
5.2 Dimensão histórica: trabalho e alienação de Irène Joliot-Curie	61
5.3 Dimensão dialética: matéria e quantidade e qualidade na radioatividade artificial	68
6. ESTUDO 3: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA HISTÓRICO- CRÍTICO	73
6.1 Referencial teórico	73
6.1.1 A Pedagogia Histórico-Crítica e a importância dos conteúdos científicos.....	74
6.2 A radioatividade como um conteúdo escolar.....	76
6.3 A Narrativa histórica.....	77
7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	84
8. REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICES	94

1. APRESENTAÇÃO

Mulheres fortes sempre estiveram presentes na minha vida, começando pelas figuras da minha família, como mãe, avó e tia — todas mães solo —, passando por toda a escolaridade básica marcada pela feminilização do magistério, até chegar na universidade e encontrar ainda mais inspirações, só que dessa vez, cientistas que criaram em mim o entusiasmo pela profissão.

Foi durante o ensino médio em uma escola particular que tive meu primeiro contato com a química, por intermédio de uma das minhas professoras favoritas dos meus anos na educação básica. Isso me direcionou, durante o segundo ano desse período, a iniciar um curso de técnico em química em uma escola estadual. Experiência que me proporcionou o início da minha vida acadêmica pelo contato com práticas laboratoriais e pesquisa. Deste modo, a escolha para a graduação não foi difícil, ingressei no curso de licenciatura em química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp).

O interesse pela química pura e experimental se manteve devido à minha vivência técnica, por isso nos primeiros anos da graduação as disciplinas práticas eram mais almejadas. Entretanto, me propus a participar do máximo de atividades que a universidade poderia me proporcionar: fui bolsista no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência; monitora de visitas do Centro de Ciências de Araraquara; e petiana do Programa de Educação Tutorial. Além de outras atividades extracurriculares como membro do Diretório Acadêmico, Comissão de Formatura, participação em eventos, representação discente e prática de esportes.

Ao final do terceiro ano fui convidada, pelo professor Doutor Celso Valentim Santilli, a fazer uma pesquisa de iniciação científica na área de físico-química como bolsista. Neste momento, pude vivenciar a rotina de laboratórios de pesquisa e a convivência com um grupo de pesquisa, o que proporcionou contato com outros pesquisadores e participação em dois Congressos de Iniciação Científica da Unesp. Inclusive, em uma dessas participações, na XXXIII edição do evento, fui premiada pelo Instituto de Química de Araraquara pelo melhor trabalho da unidade e pude levar minha apresentação para a segunda fase do congresso.

Mesmo obtendo êxito com essa experiência na pesquisa em química, eu não me sentia realizada academicamente. Foi nesse mesmo momento que os estágios e matérias pedagógicas se intensificaram, além do início do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) que deveria ser sobre educação. Assim, me vi em dúvida sobre qual caminho eu seguiria, pois a química pura me acompanhava desde o início, mas o ensino me instigou rapidamente. Já que essa área me proporcionou ao mesmo tempo uma formação profissional e pessoal, dando-me um novo olhar sobre o impacto que a docência é capaz de proporcionar ao colaborar para a formação de

pessoas. Mesmo assim, eu decidi participar das duas áreas ao mesmo tempo para que não restassem dúvidas.

Iniciei um estágio remunerado no laboratório de análises do Centro de Monitoramento e Pesquisa da Qualidade de Combustíveis, Biocombustíveis, Petróleo e Derivados, onde pude conhecer o trabalho do químico dentro de uma empresa. Além disso, os estágios nas escolas me proporcionaram experiências da prática docente, enquanto o TCC me mantinha na pesquisa em educação. Desse modo, vivenciando todas essas possibilidades, a que mais se mostrou próxima da minha história, interesses e ideais, foi a pesquisa do TCC. Isso porque, pude desenvolver junto à minha orientadora, professora Doutora Luciana Massi, um trabalho que envolvesse questões de gênero e a ciência. Decidimos reconstruir a história de alguma cientista que foi relevante para a história da Química, unindo meus interesses pessoais com uma das linhas de pesquisa da professora.

Sobre a escolha do objeto de pesquisa, encontramos dificuldades ao tentar realizar buscas sobre a vida de pessoas ainda vivas, como as professoras universitárias, por outro lado, havia a obviedade de algumas personagens históricas, como Marie Curie. Sendo assim, optamos por Irène Joliot-Curie, um pouco mais contemporânea que sua mãe, mas tão impactante quanto. Suas questões familiares e relação com o marido também me instigaram e traziam aspectos de gênero que poderiam emergir na pesquisa. Portanto, o trabalho foi sobre a vida e a carreira de Irène Joliot-Curie, com aspectos sociais, políticos e de gênero destacados.

Finalizei os estágios, apresentei o TCC e concluí o curso em janeiro de 2022, tendo a certeza sobre meus interesses. Em março do mesmo ano, ingressei em uma das primeiras colocações do processo seletivo do mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Unesp para dar continuidade à pesquisa iniciada na graduação. Fui contemplada pela bolsa de estudos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) em agosto daquele ano. Nestes primeiros dois semestres, cursei disciplinas, participei de reuniões do grupo de pesquisa, de grupos de estudos com temas variados, além de participar da comissão organizadora da XIX Reunião Técnica do programa ao qual pertença.

Minha proposta de pesquisa inicial era de um desdobramento do TCC, com o objetivo de continuar investigando a trajetória acadêmica e pessoal de Irène Joliot-Curie, com maiores aprofundamentos quanto ao método marxista de análise da história e com avanços nas discussões sobre a questão do gênero na ciência. Pude desenvolver mais o método, uma vez que com as reuniões de estudos, me aprofundei nas discussões históricas e filosóficas da ciência, ambas sob uma perspectiva materialista. Quanto ao interesse nas questões de gênero, ainda em 2022, submeti um trabalho para o XIV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação

em Ciências que foi apresentado em outubro de 2023 (Lima; Massi, 2023). Também pude ler algumas autoras feministas marxistas, como Silvia Federici, e pude ainda, em parceria com a minha orientadora Professora Luciana Massi, publicar um artigo sobre a relação histórica entre o feminismo e o marxismo, além de analisar a história de Irène por meio de categorias baseadas no materialismo histórico e dialético (Cabral; Massi, 2023). Entretanto, as discussões desse aspecto presentes nesta dissertação se deram a partir de um outro conceito da área, uma sugestão da professora Doutora Letícia dos Santos Pereira no contexto da qualificação desta pesquisa, que se mostrou como um caminho mais frutífero dada a realidade histórica da cientista.

Ainda em 2022, em colaboração com a minha orientadora e um de seus alunos de Iniciação Científica, escrevi um artigo a fim de publicar meus resultados do TCC (Cabral; Lima; Massi, 2023). O aluno em questão pesquisava sobre a história da radioatividade em livros didáticos, então para resolver as ausências historiográficas dos livros estudados por ele, propusemos o uso de partes da história de Irène Joliot-Curie. Um tempo depois, tive a oportunidade de iniciar a produção de um material didático, no formato de uma narrativa histórica (Allchin, 2017; Azevedo; Del Corso, 2017), com a história que eu havia escrito no TCC, para o ensino do conteúdo e de aspectos de Natureza da Ciência (NdC). Deste modo, meus esforços para tal elaboração se estenderam até meados de 2023, pois pesquisas e discussões sobre o formato do material foram necessárias para a sua escrita, bem como validações coletivas e implementações iniciais na disciplina de História e Filosofia para o Ensino de Ciências oferecida para o curso de Licenciatura em Química do Instituto de Química da UNESP. Ao final, os esforços da pesquisa se voltaram para discussões filosóficas da história e do conteúdo, visando apresentá-lo como um conteúdo escolar e produzir um material didático que contribua para o ensino de química histórico-crítico.

Sendo assim, as questões que emergem da minha trajetória e consequentemente, guiam as intenções desta pesquisa, sem a pretensão de resposta diante de sua abrangência, são: Qual o papel da mulher na produção da ciência? Como a vida pessoal influencia a carreira profissional dos cientistas? Como a percepção do movimento da história contribui para o entendimento dos conhecimentos científicos? O que é a química e qual é a natureza do seu conhecimento?

Essas questões mais amplas orientaram a delimitação desta pesquisa que tem como objetivo explicitar, por meio de uma análise histórica, materialista e dialética, aspectos da vida e trabalho científico de Irène Joliot-Curie, de modo a propor suas implicações para a Educação

Química Histórico-Crítica. Visando responder à questão: como e por que a história de Irène Joliot-Curie pode contribuir para o ensino histórico-crítico de radioatividade?

Em busca de uma resposta, mesmo que parcial, para tais questionamentos, nos propusemos nesta dissertação a investigar histórica e filosoficamente a trajetória de Irène Joliot-Curie, explicitando as questões de gênero e a perspectiva materialista, histórica e dialética, além de discutir implicações didáticas. Tal investigação foi desenvolvida por meio de três estudos com os seguintes objetivos específicos: 1) Evidenciar aspectos de gênero e de história geral que contextualizam a trajetória de Irène Joliot-Curie explorando o trabalho anterior por meio de uma perspectiva crítica; 2) Compreender as especificidades do trabalho da cientista associando a história dela à categorias e leis filosóficas do Materialismo Histórico e Dialético; 3) Propor uma narrativa histórica utilizando a história da cientista e discutindo a importância do conteúdo de curricular ao qual ela remete.

Embora os estudos tenham sido desenvolvidos separadamente, eles se relacionam pela intenção de tratar questões de gênero por meio da história da ciência no ensino do conteúdo. A perspectiva marxista também expressa a conexão coerente entre os três estudos, uma vez que a análise histórica foi feita por meio da historiografia marxista, proposta por Young (1990) que parte da categoria trabalho e está ancorada no Materialismo Histórico e Dialético (MHD), o que também deu base para as discussões filosóficas. Já os direcionamentos para o ensino da química foram promovidos pela Pedagogia Histórico-Crítica (PHC), uma teoria pedagógica de bases marxistas, que permitiu a discussão da importância do conteúdo e a proposição de um material para o seu ensino baseado no uso da História e Filosofia da Ciência (HFC). Por fim, as discussões a respeito das questões de gênero que emergem da história estão sustentadas principalmente pela ideia do labirinto de cristal, que abarca o efeito Camille Claudel, proposto por Lima (2013). O que, mesmo não sendo marxista, trata-se de uma categoria de análise feminista que visa também a transformação social.

Visando atingir os objetivos já descritos, este trabalho foi dividido nas seguintes seções: o primeiro capítulo é este no qual me apresento e que busca trazer a justificativa pessoal desta pesquisa; no segundo capítulo, a introdução, apresentamos algumas lacunas e tendências sobre os estudos da relação entre gênero e ciência, história da ciência, filosofia da química, ensino de ciências e o conteúdo de radioatividade com base na PHC, lembrando que este é o conhecimento que emerge do trabalho de Irène Joliot-Curie; o terceiro capítulo apresenta a metodologia de investigação, conectando os objetivos da pesquisa com os métodos escolhidos a fim de explicitar o caminho percorrido no trabalho; o quarto capítulo é o primeiro dos resultados, apresentando o estudo 1 com a historiografia sobre a Irène Joliot-Curie feita no

TCC, com enfoque nas questões de gênero; o quinto capítulo apresenta resultados do estudo 2, contando com uma subseção sobre o referencial teórico (materialismo histórico e dialético) e seguido das discussões acerca da categoria trabalho e alienação por meio da história da cientista, sobre a materialidade e a lei da quantidade e qualidade utilizadas para analisar o conhecimento químico por ela produzido; o sexto capítulo apresenta discussões sobre a importância do conteúdo de radioatividade a partir da PHC e a proposição de uma narrativa histórica sobre a vida da cientista e o ensino do conteúdo, iniciando com uma breve apresentação do referencial teórico da PHC; o sétimo capítulo, finaliza o trabalho propondo conclusões e implicações sobre os resultados até aqui atingidos e vislumbra perspectivas de continuação da pesquisa. Deste modo, o trabalho está apresentado na ordem dos estudos (1, 2 e 3), contando com uma introdução em comum, uma metodologia dividida em subseções respectivas à eles, seguida dos resultados, sendo alguns com breve apresentação dos respectivos referenciais teóricos, e a conclusão que também é comum. Ao final do texto os apêndices apresentam a narrativa histórica e seu material complementar na íntegra, tendo sido ambos produzidos em conjunto com outras autoras.

2. INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre gênero e ciências têm crescido junto com os avanços da sociedade sobre o reconhecimento dos preconceitos e desigualdades de gênero. Isso porque “[...] os estudos de gênero, ciências e tecnologias desempenham um papel fundamental para subsidiar a formulação de políticas para promoção da equidade de gênero nas ciências e tecnologias” (Lima; Costa, 2016, p. 3). Atualmente, os temas mais recorrentes dessa temática são: estudos sobre trajetórias/histórias/biografias de mulheres em ciência e tecnologia; carreiras de mulheres em ciência e tecnologia e seus desafios; relações de gênero, ciência e educação; epistemologias/teorias de gênero; entre outras (Bitencourt, 2008; Cabral (2015); Lopes *et al.*, 2014; Minella, 2013). Ou seja, os avanços dos estudos têm se dado, majoritariamente, por meio do reconhecimento de mulheres na produção histórica da ciência, porque “[...] não são as mulheres que estão de fora, são nossas lentes que precisam ser ajustadas para percebê-las” (Gerlbart, 2016, p. 116, tradução nossa).

Sendo assim, Santana e Pereira (2021) destacam que dar visibilidade à história de mulheres cientistas é um dos caminhos que podem ser explorados nessa perspectiva, utilizando o gênero como categoria de análise. O que permite ainda a conexão com outras categorias como raça, geração e classe, possibilitando a ampliação das análises para uma captura mais total da realidade que se busca explicitar. A partir disso, outras categorias específicas de estudos de gênero e ciências têm surgido, como: a interseccionalidade, que explicita que mulheres marcadas por diferentes fatores (gênero, raça, classe social, posicionamento político etc.) possuem obstáculos ainda maiores para ingressar na ciência e para terem seus direitos de equidade garantidos (Crenshaw, 2002); ou ainda Margaret Rossiter que propõe o efeito Matilda para se referir a ascensão de mulheres cientistas normalmente relacionada ou atribuída à homens, partindo das noções de efeito Mateus, proposto por Robert Merton (Lima, 2013).

Outra noção que permite explicitar as desigualdades nessa área é a de teto de vidro, uma “metáfora para representar o obstáculo invisível, porém concreto, que impede as mulheres de chegarem a determinadas posições de prestígio nas profissões” (Lima, 2013, p. 885). A autora destaca dois aspectos principais dessa ideia: primeiro, sobre a transparência do vidro que explicita barreiras invisíveis e não formais contra as mulheres; e segundo, quanto à existência de um teto que limita as mulheres a determinadas posições. Entretanto, ela vai além dessas discussões e propõe a ideia de labirinto de cristal, já que as barreiras das desigualdades de gênero permeiam não somente o topo, mas todas as direções da carreira científica de uma mulher (Lima, 2008). Dentro desse labirinto há um obstáculo específico quanto ao casamento heterossexual entre pesquisadores da mesma área que ela nomeia de endogamia disciplinar,

cujas consequências específicas na carreira das mulheres ela nomeia efeito Camille Claudel. Esse efeito se materializa de três formas:

- 1) ‘carreiras encaixadas’, em que ocorrem concessões de projetos, temas e escolhas profissionais em função do matrimônio; 2) o possível ofuscamento da esposa em função da lógica de gênero, atribuindo ao homem que trabalha no mesmo tema maior destaque e relevância que à mulher; 3) a relação de concorrência entre o casal, com falta de apoio e estímulo entre os parceiros. (Lima, 2013, p. 894)

Entretanto, ainda há muitos caminhos a serem percorridos nessa área, os trabalhos estão dispersos e são incipientes (Cabral, 2015; Leta, 2003), até porque a preocupação com o reconhecimento das mulheres nas ciências ganhou destaque apenas a partir de 1980 (Leta, 2003; Wedge; Williams, 1996). Por isso, Lima e Costa (2016) apontam para a falta de estudos sobre a colaboração entre pessoas do mesmo sexo, enquanto Santana, Andrade e Santos (2020, p. 209) destacam o crescente interesse em “refletir o viés de neutralidade atribuído a ciência”. Hendges e Santos (2022), por sua vez, indicam o potencial do tema em combater a visão distorcida de ciência masculina.

Como exemplo de trabalhos que contemplam tais demandas, Pereira (2021) produziu um esboço biográfico de Clara Immerwahr (1870-1915), esposa de Fritz Haber (1868-1934), refletindo sobre a relação entre sua carreira científica e o casamento, mostrando como essa química corporifica obstáculos invisíveis do labirinto de cristal e do efeito Camille Claudel. Há também o trabalho de Lima (2019) que apresenta, discute e analisa aspectos da trajetória acadêmica de Lise Meitner (1878-1968), numa perspectiva da crítica feminista, usando gênero como uma categoria de análise. Ou seja, as histórias de duas cientistas foram utilizadas em estudos sobre suas próprias trajetórias capazes de explicitar as questões de gênero nas ciências.

Portanto, percebe-se que é possível abordar as desigualdades de gênero que permeiam a ciência por meio da história da própria ciência, visto que a história descrita e interpretada como um processo criado por “[...] seres humanos envolvidos em relações sócio-culturais peculiares a cada época” (Baldinato; Porto, 2008, p. 2) pode abranger as questões de gênero. Isso, especialmente a partir das histórias das próprias mulheres da ciência, pois dar visibilidade a histórias de mulheres cientistas colabora também para o seu reconhecimento na sociedade (Santana; Pereira, 2021).

Sendo assim, a abordagem conceitual e não-conceitual da história, proposta por Martins (2005), pode ser considerada eficiente para atingir os objetivos desse tipo de pesquisa, uma vez que abrange tanto o contexto científico, quanto os fatores extra científicos de uma determinada questão histórica. O que permite considerar além das práticas, instrumentos e modos de

publicação, as instituições, políticas, fatores econômicos e culturais, também como influenciadores da técnica (Baldinato; Porto, 2008). Porque

[...] é impossível compreender uma trajetória de vida sem que possamos compreender em que lugar ela se desenvolve. E, juntamente ao espaço físico, propriamente dito, encontramos o contexto social e político no qual se insere a narrativa tratada (Lima, 2019, p. 29).

Tais abordagens da história da ciência, especialmente no que tange às questões de gênero, são majoritariamente interpretadas por tendências pós-modernas e são escassas quanto às interpretações críticas (Agostini; Massi; Santos; Souza, 2019). Além disso, segundo Colturato e Massi (2019), dentre os estudos historiográficos que buscam perceber os personagens nos dilemas científicos e sociais de seu tempo, são poucos os que adotam a perspectiva marxista.

A história da ciência se constitui por múltiplas faces e conta com a contribuição de três outras áreas:

Sem dúvida, uma delas é composta pelas várias ciências, com as quais a história da ciência se relaciona, desde seus primórdios, através de um meta-discurso. A outra interface pertence tradicionalmente à filosofia ou, para sermos mais precisos, à história da filosofia e à filosofia da ciência. Um intercâmbio frutífero foi produzido nesta interface, do qual ambos os lados usufruíram, apesar das diversidades tanto de abordagem quanto de configuração dos objetos. Surpreendentemente, a última das interfaces a ser formada foi com a própria área de história. Alguns dos motivos expostos no tópico acima nos oferecem a nova dimensão que esta interface trouxe para a história da ciência. Embora não devamos esquecer que a esfera interna e fortemente epistemológica das análises em história da ciência marca sempre um diferencial entre esta e a história em seus vários campos (Alfonso-Goldfarb, 2008, p. 8-9).

Por isso, os estudos de trajetórias de cientistas, para contemplar as exigências do campo de história da ciência, devem abranger discussões sobre: a área da ciência na qual ela está inserida; aspectos filosóficos do trabalho que ela realizou e do conhecimento que produziu; e considerar a própria história para contextualizar os episódios a serem discutidos. Além disso, Kragh (2001) destaca que os entendimentos atuais da ciência são necessários para a escrita de sua história, mas deve ser um movimento cuidadoso para que os conhecimentos passados não sejam julgados por meio dos atuais. Sendo assim, o autor sugere um equilíbrio entre anacronismo e diacronismo nos movimentos interpretativos sobre a HFC, assumindo que os estudiosos dessa área estão em busca da verdade na história sob interferências do presente.

Deste modo, considerando a importância e a tendência da área de estudos de gênero sobre pesquisas de trajetórias de cientistas, um movimento inicial de reconstrução da história em questão deve ser feito para que as análises que unem ciência, filosofia e história sejam

realizadas por meio das categorias que envolvem o gênero. Neste momento, retoma-se uma pesquisa desenvolvida anteriormente que apresentou tais resultados preliminares (Lima, 2022), mas que ainda carecia de avanços na investigação dos aspectos aqui destacados para que se tenha de fato um trabalho de história da ciência com destaque para questões de gênero.

O trabalho em questão apresenta a trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie, uma química do século XX que trabalhou com radioatividade durante toda sua carreira e foi premiada pelo Nobel de química em 1935. Irène era filha de Pierre Curie e casada com Frédéric Joliot, dois renomados físicos, o que faz com que sua carreira seja constantemente relacionada aos feitos deles, homens (Crossfield, 1997). Além disso, era filha de Marie Curie e sua evidência também é normalmente desvalorizada pelo destaque constante da mãe (Crossfield, 1997). Destaca-se, por fim, seu envolvimento com questões políticas que fez com que o final de sua carreira fosse negligenciado por acusações de associação ao comunismo (Gilmer, 2011).

Portanto, por se tratar de uma química, a história e a filosofia a serem consideradas nos movimentos de interface e contextualização da trajetória da cientista devem coincidir com as discussões da história da química e da filosofia da química. Esses campos são autônomos e apresentam questões próprias que têm passado por um esforço de determinação das especificidades da química a partir da preocupação de “químicos, historiadores, filósofos e educadores em química [...] a respeito do papel da química no mundo moderno” (Lemes; Porto, 2014, p. 122). As principais questões têm sido a irredutibilidade da química à física (Lemes; Porto, 2014) e a materialidade presente nesta ciência, por meio de discussões sobre conceituação de leis e modelos, importância da realidade subatômica e a caracterização da natureza da química (Ribeiro; Bejarano; Santos, 2016).

Destaca-se então que esse esforço de conectar as áreas de química, filosofia e história, desde que com um olhar crítico, permite “uma análise histórica cuidadosamente investigada [que] poderia apoiar os esforços para mudar a ciência, como parte de uma campanha mais ampla pela justiça social” (Secord, 2021, p. 45, tradução nossa). Ou seja, é uma estratégia de estudos da ciência a partir da sua própria história que pode ser capaz de explicitar e compor uma luta pelas questões sociais, como as desigualdades de gênero, por exemplo. Entretanto, de acordo com Secord (2021), tal movimento historiográfico só é relevante e útil à tal função se conduzir à ação.

Em busca de concretizar os resultados a serem obtidos com as análises e torná-los um elemento chave para a ação na sociedade, a educação escolar se mostra eficiente como mediadora desse processo, uma vez que “a educação é, sim, determinada pela sociedade, mas [...] conseqüentemente, a educação também interfere sobre a sociedade, podendo contribuir

para a sua própria transformação” (Saviani, 2011a, p. 80). Por isso, se faz necessária uma “proposta pedagógica cujo ponto de referência, cujo compromisso, seja a transformação da sociedade e não sua manutenção” (Saviani, 2011a, p. 80). Saviani (2011a) propõe a Pedagogia Histórico-Crítica (PHC) como teoria pedagógica capaz de promover tal transformação. Essa perspectiva será discutida posteriormente nesta dissertação, mas já é possível adiantar o fato de que é uma teoria de bases marxistas. Considerando especificamente a presença de HFC no ensino, mesmo que não alinhado aos princípios da PHC, Matthews (2015) aponta para o fato de que um ensino crítico pode ser promovido por meio do oferecimento de conteúdos científicos devidamente contextualizados e explicados em seu desenvolvimento histórico e filosófico.

O uso da HFC no âmbito do ensino apresenta caráter interdisciplinar, da mesma forma como é concebida no meio acadêmico, uma vez que mobiliza diferentes áreas (história, filosofia e ciências), humanizando o trabalho científico e combatendo o paradigma de neutralidade das ciências (Baldinato; Porto, 2008). Além disso, essas redes conceituais que o uso da HFC permite estabelecer, contribuem para um melhor e mais completo entendimento a respeito dos conceitos que serão trabalhados, já que estarão localizados na totalidade histórica (Messeder Neto; Teixeira; Colturato, 2022). Ainda neste sentido, Allchin (2017, p. 102), focado em aspectos de NdC, aponta que seu uso no ensino tem um potencial investigativo:

A história da ciência pode fornecer aos estudantes de ciências percepções sobre a Natureza da Ciência [...]. Como é possível transmitir essas lições de forma eficaz? Pesquisas educacionais indicam que as formas mais eficazes de instrução sobre a NOS envolvem investigação - ou seja, envolver os alunos em seu próprio aprendizado por meio de perguntas e investigações [...]. A estratégia aqui descrita é combinar história e investigação - ou seja, usar uma trajetória histórica para orientar os alunos por meio de sucessivas atividades de investigação e solução de problemas. Em essência, nós os situamos em um contexto histórico da ciência em construção.

Azevedo e Del Corso (2019, p. 23), que seguem a mesma linha de discussão de Natureza da Ciência que Allchin, também têm apontado para os mesmos aspectos, mas destacam ainda que essa inserção pode refletir nos debates sobre o currículo:

A abordagem histórica com fins de ensino e aprendizagem de conceitos e ideias científicas tem sido apontada como uma estratégia frutífera para promover experiências interativas na sala de aula [...]. O uso da história da ciência no ensino de ciências tem sido uma tônica dos debates curriculares do último século.

Contudo, destaca-se ainda que, para a PHC, a história da ciência no ensino não possui um caráter metodológico, mas deve ter a função de explicitar os conteúdos como produtos históricos que refletem as necessidades e possibilidades de uma realidade social. Tais aspectos

podem ser demonstrados a partir das condições econômicas de cada época, sendo portanto, a história parte intrínseca à produção, superando o frequente papel atribuído à ela de mera contextualização e assim, caracterizando o conhecimento como resultado da atividade humana (Messeder Neto, 2022)

Considerando então que a história a ser trabalhada é a de Irène Joliot-Curie, suas implicações para a educação remetem ao conteúdo de radioatividade do componente curricular de química, já que o conhecimento com o qual a cientista trabalhou foi o de radioatividade artificial (Gilmer, 2011). Tal apontamento se deve ao fato deste conhecimento ter sido o principal trabalho da carreira de Irène, e considerando que a pedagogia que permeia a pesquisa é marxista, mostra-se coerente a utilização do trabalho como ponto de partida das discussões materialistas, históricas e dialéticas. Logo, essa categoria também pode ser o meio de manifestação do conteúdo curricular pois “o trabalho é o núcleo a partir do qual podem ser compreendidas as formas da atividade criadora do sujeito humano” (Konder, 2011, p. 23-24).

A respeito do conteúdo de radioatividade, segundo Cordeiro e Peduzzi (2011, p. 1)

em um mapeamento da produção nacional e internacional sobre inserções de física moderna e contemporânea no Ensino Médio desde a década de 1980, apontam para apenas seis trabalhos sobre radioatividade. Em uma revisão bibliográfica similar mais recente [...] notaram um aumento considerável na produção sobre radioatividade, mas ainda irrisório na comparação com outros temas [...]. Dos trabalhos mapeados por eles, todos acabam tratando dos aspectos práticos da radioatividade, seja para a geração de energia, seja pelas catástrofes que ela pode causar. São poucos os artigos que demonstram uma preocupação com as possibilidades educacionais da abordagem histórica e filosófica da radioatividade. Contudo, há algumas pesquisas específicas de historiadores da ciência sobre o assunto. Na literatura brasileira, [...] se restringem à descoberta do fenômeno por Henri Becquerel e aos trabalhos de Marie e Pierre Curie, ou seja, sobre o período da gênese da radioatividade. Mas a radioatividade, em seus primeiros anos, não se esgota em sua gênese.

Contudo, ao tratarmos de qualquer conteúdo, discussões acerca de livros didáticos (LD) são suscitadas, pois segundo Santos (2020), os LD são historicamente o instrumento mais utilizado por professores para a seleção de conteúdos. Além disso, para a PHC, a discussão de conteúdos curriculares e a sua presença no ensino é de extrema importância, uma vez que seus autores defendem que é por meio dos conhecimentos que o aluno pode ser inserido na sociedade a fim de transformá-la (Saviani, 2011a). Por isso, Santos (2020) analisa historicamente a permanência de conteúdos em LD e destaca que o conteúdo de radioatividade, na maioria das vezes em sua forma natural, mas também artificial, “no período inicial já aparecia [...] e resiste até o contexto atual” (Santos, 2020, p. 211). Entretanto, a utilização de

LD reflete ainda uma questão mais ampla da educação, o currículo, uma vez que eles são produzidos a partir destes documentos.

Marsiglia *et al* (2017), Cássio (2018) e Catini (2020) apontam que tem havido um esvaziamento curricular na recente Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Isso porque a reformulação dos documentos curriculares que resultou na BNCC não contou com a participação de professores e/ou pesquisadores da área. Na verdade, as maiores contribuições vieram de parcerias público-privadas do programa “Todos pela Educação”, que abriga interesses empresariais e um projeto de mercantilização da educação brasileira (Catini, 2020). Tal processo resultou ainda na reforma do ensino médio, caracterizada por flexibilizar e diminuir a carga horária de várias disciplinas, dentre elas as que compreendem as ciências naturais, como biologia, física e química (Kuenzer, 2019). Para que a escola dê conta do ensino de outras disciplinas mesmo com menor carga horária, muitos conteúdos escolares foram excluídos do currículo e substituídos por aqueles voltados para habilidades socioemocionais (Cássio, 2018; Catini, 2020), restringindo o contato dos estudantes com as artes, a filosofia e as ciências (Marsiglia *et al*, 2017).

Ou seja, o conteúdo de radioatividade, mesmo apontado como constantemente presente em LD - o que nos indica sua histórica presença no ensino de química - tende a desaparecer juntamente com muitos dos conteúdos das áreas negligenciadas. Isso porque, no atual documento da BNCC, o termo “radioatividade” só aparece uma vez em uma habilidade, relacionado com cálculos matemáticos e não com o conteúdo da química:

(EM13MAT305) Resolver e elaborar problemas com funções logarítmicas nos quais seja necessário compreender e interpretar a variação das grandezas envolvidas, em contextos como os de abalos sísmicos, pH, radioatividade, Matemática Financeira, entre outros (Brasil, 2017, p. 536).

É nesse contexto que foi realizada uma análise histórica e filosófica da trajetória de Irène Joliot-Curie e do conhecimento por ela produzido, buscando explicitar as desigualdades de gênero existentes na ciência por meio da trajetória da própria cientista. Isso porque, a tendência da história da ciência de estudar episódios históricos específicos permite-nos discutir e apontar para questões mais gerais da ciência por meio de uma análise materialista, histórica e dialética. Além disso, buscamos colaborar para o avanço da área de estudos de gênero que envolvem ciência e tecnologia sob uma perspectiva crítica, dadas as potencialidades do referencial historiográfico marxista. Considerando-se também o destaque que essa concepção de história dá ao trabalho, um conteúdo escolar pôde ser abordado a partir da principal contribuição científica da cientista que, sendo esta a história da produção desse conhecimento,

pode-se demonstrar a importância do seu ensino e alertar sobre sua ausência nos currículos atuais. Por fim, consideramos que a produção de um material didático investigativo para a PHC, mesmo que tratando-se de uma ferramenta de origens pedagógicas não-críticas, pode contribuir para a construção coletiva de um ensino de química histórico-crítico.

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabalho analisou sob uma perspectiva materialista, histórica e dialética aspectos da vida e do trabalho científico de Irène Joliot-Curie de modo a propor discussões históricas e filosóficas sobre a radioatividade artificial. Além disso, apontamos a importância do seu ensino, produzindo uma narrativa histórica baseada nos estudos historiográficos e em aspectos de natureza da ciência. Destaca-se novamente que, mesmo tratando-se de três estudos separados, todos se unem pela mesma perspectiva materialista, histórica e dialética e pelo objetivo geral de compreender a história de Irène pela historiografia marxista a fim de contribuir tanto para a área de HFC quanto para a sua inserção no ensino de química histórico-crítico. Apesar de considerar que os objetivos específicos dos três estudos propostos foram atingidos nesta dissertação, reconhecemos que há ainda aspectos que podem ser aprimorados com discussões mais bem fundamentadas em pesquisas futuras.

A partir da história retomada do TCC foi possível reorganizar a história de Irène Joliot-Curie filtrando melhor as informações extraídas das fontes utilizadas, organizando a ordem cronológica e aprimorando as descrições fenomenológicas. Tais avanços buscaram uma contextualização histórica e científica que localiza a cientista no contexto ao qual ela estava inserida, na tentativa de evitar possíveis anacronismos, além de possibilitar a percepção da importância do conhecimento que ela foi reconhecida por produzir. Isso porque, vislumbrando os impactos e consequências da sua produção científica, colabora-se para uma melhor caracterização dos conhecimentos químicos e até mesmo da própria química. Tais avanços foram possíveis porque a perspectiva historiográfica marxista, que deu base para as análises, mesmo que centralizando as discussões apenas em torno do trabalho, pode ser extrapolada com uma maior contextualização da trajetória da cientista em relação a aspectos internos e externos da ciência. Destaca-se ainda a progressão das análises em relação às questões de gênero, que permitiu ressaltar os três aspectos do efeito Camille Claudel dimensionando os principais impactos do casamento com outro cientista homem em sua carreira. Foi possível, assim, explicitar alguns dos obstáculos normalmente invisíveis dispostos pela carreira acadêmica das mulheres, como a lenta e solitária ascensão, já que o marido prospera mais e primeiro, abandonando-a. Ou seja, demonstramos os obstáculos que estão dispostos durante a trajetória toda e não somente na direção do topo, caracterizando o denominado labirinto de cristal.

Sendo apresentada tal importância para o seu trabalho por meio da sua trajetória, o conhecimento sobre a radioatividade artificial pôde ser mais bem discutido, já que de acordo com o referencial adotado, foi a partir dele que Irène produziu e se reproduziu na sua realidade histórica. Por meio do materialismo histórico, a categoria trabalho foi discutida, explicitando

características específicas da carreira científica, acarretando ainda explicações acerca da alienação sofrida por Irène, bem como as consequências para ela e para o conhecimento produzido. Tais aspectos foram analisados a partir do materialismo dialético, método mobilizado a partir da questão da materialidade e da lei da quantidade e qualidade, permitindo explicitar a dialética presente no fenômeno da radioatividade artificial e explorar o potencial da lógica dialética como meio de entendimento da matéria.

Tendo em vista tais aprofundamentos a respeito da carreira de Irène e buscando concretizar as pesquisas realizadas, mantendo as preocupações iniciais com as questões históricas, filosóficas e de gênero, uma implicação didática foi proposta. Por isso, considerando a emersão da história por meio do trabalho da cientista, o conhecimento produzido por ela em seu principal feito foi aproximado do ensino de ciências como conteúdo de radioatividade. A ferramenta didática que permitiu essa proposição foi a da narrativa histórica, uma investigação baseada na história verdadeira capaz de abranger aspectos de NdC, no caso, com foco nas questões de gênero, além do próprio conteúdo científico. Por se tratar de um instrumento proveniente de outra perspectiva pedagógica, algumas adaptações foram necessárias durante o processo de produção, incluindo aplicações testes do material que colaboraram para o seu aprimoramento. Assim, foi desenvolvido com partes da história da cientista e questões para pensar que buscam promover o processo investigativo por meio de reflexões e discussões por parte do aluno, na medida em que a narrativa histórica direciona os fatos e a aplicação do conhecimento em questão.

Ademais, entende-se que a pesquisa pode avançar nos seguintes aspectos: na história, com a apropriação de outras fontes primárias e secundárias a respeito da cientista, a fim de melhorar as descrições e contextualizações da sua carreira; nas discussões históricas por meio de maior apropriação do método mobilizado, o que pode proporcionar um avanço para além das ideias de autores utilizados, já que eles podem ser considerados superados; nas questões filosóficas pode-se realizar a busca por estudos já feitos na filosofia da química sobre a radioatividade, para atualizar e localizar as argumentações aqui apresentadas; apropriar-se de maneira mais completa da proposta da narrativa histórica, com o intuito de esclarecer os passos de produção e deixá-los mais coerentes com a PHC, além de futuras revisões da própria narrativa por meio de aplicações em salas de aula para confirmação do seu funcionamento; e aprofundar a discussão da radioatividade como um conteúdo clássico para a PHC, bem como sua inserção em um currículo de química histórico-crítico.

8. REFERÊNCIAS

- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. **Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales**. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, ed. 1, 2005.
- AGOSTINI, Gabriela; MASSI, Luciana; SANTOS, Letícia Maria dos; SOUZA, Dianne Cassiano de. Abordagens teóricas nas pesquisas sobre gênero em educação em ciências: em busca da especificidade da área. ABRAPEC. **Anais [...]**, Natal, 2019.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **Centenário Simão Mathias: Documentos, Métodos e Identidade da História da Ciência**. Circunscribere, v. 4, p. 5-9, 2008.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; FERRAZ, Márcia Helena Mendes; BELTRAN, Maria Helena Roxo. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. In: ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria e BELTRAN, Maria Helena Roxo. (Orgs.), **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Educ-Fapesp-Livraria da Física, 2004, p. 49-73.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **Da alquimia à química**. 1. ed. São Paulo: Nova Stella, 1987.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **O que é história da ciência**. São Paulo: Brasiliense, 1 ed., 1994.
- ALLCHIN, Douglas. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011a. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20432>.
- ALLCHIN, Douglas. Historical inquiry cases for nature of Science learning. In: ALLCHIN, Douglas. **Casos de investigação histórica para o aprendizado da natureza da ciência**. Cadernos De História Da Ciência, vol. 13, n. 2, p. 101–126, 2017.
- ALLCHIN, Douglas. Historical inquiry cases in a brazilian context. In: SILVA, Ana Paula Bispo da; MOURA, Breno Arsioli. **Objetivos humanísticos, conteúdos científicos: contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências**. EDUEPB, 384 p., 2019. DOI: <http://doi.org/10.7476/9786586221664>.
- ALLCHIN, Douglas. Teaching the nature of science: perspectives & resources. Saint Paul: **SHiPS Education Press**, 2013.
- ALLCHIN, Douglas. The Minnesota Case Study Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education. **Science & Education**, vol. 21, p. 1263–1281, may. 2011b. DOI: 10.1007/s11191-011-9368-x.
- ALVES, Sarah. **"Batom radioativo": a história de cosméticos que fizeram sucesso no passado**. In: Tilt UOL. [S. l.], 26 ago. 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/08/26/cosmeticos-radioativos-o-que-eles-ensinam-sobre-o-controle-dos-produtos.htm>. Acesso em: 20 dez. 2023.
- ANTONELLI, Francesca. Becoming Visible. Marie-Anne Paulze-Lavoisier and the Campaign for the “New Chemistry” (1770s-1790s). **Ambix**, p. 221-242, 2022. DOI: 10.1080/00026980.2022.2091352.

ÁTOMO. In: **Dicionário de língua portuguesa Oxford Languages**. Oxford, 2023. Disponível em: <<https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

AZEVEDO, Nathália Helena; DEL CORSO, Thiago Marinho. “A doença dos trabalhadores da estrada de ferro” : uma narrativa histórica e suas potencialidades para explorar aspectos de natureza da ciência. **Cadernos De História Da Ciência**, vol. 13, n. 2, p. 101-126, 2017.

BALDINATO, José Otávio; PORTO, Paulo Alves. **Variações da história da ciência no ensino de ciências**. In: Mortimer, E. F. (Org.). ABRAPEC. Anais [...], Belo Horizonte, 2008.

BERNAL, John Desmond. **Ciência na História**. Livros Horizonte, v. 4, p. 695-879, 1969.

BITENCOURT, Silvana Maria. Gênero e Ciência: relevância e contemplação da temática no cenário brasileiro. In: Seminário Internacional Fazendo Gênero: corpo, violência e poder, 8, 2008, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: FG8, 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 03 jul. 2023.

CHEPTULIN, Alexandre. **A dialética materialista: categorias e leis da dialética**. São Paulo: Alfa-Omega, 2 ed., 354 p. 2004.

CÁSSIO, Fernando Luiz. Base Nacional Comum Curricular: ponto de saturação e retrocesso na educação. **Retratos da Escola**, v. 12, n. 23, p. 239-254, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22420/rde.v12i23.887>.

CATINI, Carolina. Empreendedorismo, privatização e o trabalho sujo da educação. **Revista USP**, n. 127, p. 53-68, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i127p53-68>.

CESAREO, Roberto. **Dos raios X à bomba atômica (1895-1945): os 50 anos que mudaram o mundo**. Brasília: Embrapa, 543 p. 2010.

CHADWICK, James. Mme. Irène Joliot-Curie. **Nature**, v. 177, n. 4517, p. 964-965, maio 1956.

COLTURATO, Andriel Rodrigo; MASSI, Luciana. Aportes teóricos e metodológicos para a História da Ciência com base no Materialismo Histórico-Dialético. Salvador: **Germinal**, v. 11, n. 3, p. 170-180, dez. 2019.

CURIE, Irène; JOLIOT, Frédéric. Production Artificielle D'éléments radioactifs - Preuve chimique de la transmutation des éléments. **Journal Physique et Le Radium**, vol. 5, n. 4, p. 153-156, abril 1934. DOI: <https://doi.org/10.1051/jphysrad:0193400504015300>

CURIE, Pierre. **Radioactive Substances, Especially Radium**. In: Nobel Prize, 1903, Estocolmo. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/pierre-curie-lecture.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.

CRENSHAW, Kimberlé. Documento para o encontro de especialistas em aspectos da discriminação racial relativos ao gênero. **Revista Estudos Feministas**, v. 10, n. 1, p. 171, 2002.

CROSSFIELD, E. Tina. Irène Joliot-Curie: Following in Her Mother's Footsteps. In:

RAYNER-CANHAM, Marelene F.; RAYNER-CANHAM, Geoffrey. W. **A Devotion to their Science: Pioneer Women of Radioactivity**. Québec: Chemical Heritage Foundation, 2005.

DEBUS, Allen George. **O homem e a Natureza no Renascimento**. Porto: Porto Editora, 2002. ISBN 0-521-21972-8.

ENGELS, Friedrich. **Dialética da natureza**. São Paulo: Boitempo, 2020.

FARIAS, Robson Fernandes de. As mulheres e o Prêmio Nobel de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 14, p. 28-30, 2001.

FELLINGER, Anne. **Women radio-chemists facing radioactive risks in France**. ESHS. Proceedings of the 2nd International Conference of the European Society for the History of Science, Cracow, 2006.

FERREIRA, C. G. **Fundamentos históricos-filosóficos do conceito de clássico na pedagogia histórico-crítica**. Tese (Mestrado em Educação Escolar) - Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Araraquara, 2019.

GADOTTI, Moacir. **Concepção dialética da educação: um estudo introdutório**. São Paulo: Cortez, 2012.

GALVÃO, Ana Carolina; LAVOURA, Tiago Nicola; MARTINS, Lígia Márcia. **Fundamentos da didática histórico-crítica**. 1. ed. Campinas: Autores Associados, 2019.

GATTO, Marcos Antônio; JÚNIOR, José Bento Suart; STANZINI, Enio de Lorena. Subsídios histórico-filosóficos para o ensino do modelo atômico de Dalton. Curitiba: **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 376-400, jan./jul. 2017.

GILMER Penny Jane. Irène Joliot-Curie, a Nobel Laureate in Artificial Radioactivity. In: CHIU, Mei-Hung.; GILMER, Penny. Jane.; TREAGUST, David. **Celebrating the 100th Anniversary of Madame Marie Sklodowska Curie's Nobel Prize in Chemistry**. Sense Publishers, 2011.

GIL PÉREZ, Daniel. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. São Paulo, **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GONÇALVES-MAIA, Raquel. **Marie Sklodowska Curie: Imagens de outra face**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 105 p. ISBN 978-85-7861-164-4.

HOBBSBAWM, Eric. **Era dos Impérios: 1875-1914**. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. ISBN 85-7164-468-3.

JANDRIÉ, Miroslav; DIMIÉ, Dimitrije. Marie and Irène Curie, Mother and Daughter, Two Ladies, Three Nobel Awards. **Scientific Technical Review**, v. 67, n. 2, p. 3-12, 2017.

JOLIOT-CURIE, Irène. **Nobel Lecture: Artificial Production of Radioactive Elements**. Nobel Prize, 1935, Amsterdam. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/joliot-curie/lecture/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

JOLIOT, Frédéric. **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. 2023.

KUENZER, Acacia Zeneida. Sistema educacional e a formação de trabalhadores: a desqualificação do Ensino Médio Flexível. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 57-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232020251.28982019>.

KONDER, Leandro. **O que é a dialética**. São Paulo: Brasiliense, 12ª reimpressão, 28 ed., 2011.

KRAGH, Helge. História da ciência anacrônica e diacrônica. In: **Introdução à Historiografia da Ciência**. Porto Editora, cap. 9, 2001, p. 99-118.

LEAL, Karel; FORATO, Thaís Cyrino de Mello. As garotas do rádio e sua busca por justiça e dignidade: possibilidades de abordagens históricas para o ensino de ciências. **Revista Brasileira de História da Ciência (RBHC)**, Rio de Janeiro, v. 14, ed. 2, p. 252-275, 8 dez. 2021. DOI <https://doi.org/10.53727/rbhc.v14i2.539>. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/revista/article/view/539>. Acesso em: 6 dez. 2023.

LEMES, Anielli Fabiula Gavioli; PORTO, Porto Alves. Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 121-147, mar. 2014.

LESSA, Sérgio; TONET, Ivo. **Introdução à filosofia de Marx**. São Paulo: Expressão Popular, 2011.

LÊNIN, Vladimir Ilyich. **Materialismo e empiriocriticismo**. Lisboa: Editoria Avante, 1982.

LIMA, Betina Stefanello; COSTA, Maria Conceição da. Gênero, ciências e tecnologias: caminhos percorridos e novos desafios. **Cadernos Pagu**, n. 48, ago. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/18094449201600480005>.

LIMA, Betina Stefanello. O labirinto de cristal: as trajetórias das cientistas na Física. **Estudos Feministas**, v. 21(3), p. 883-906, set.-dez. 2013.

LIMA, Betina Stefanello. **Teto de vidro ou labirinto de cristal? As margens femininas das ciências**. Dissertação (Mestrado em História). Universidade de Brasília. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/3714?mode=full>>.

LIMA, Isabelle Priscila Carneiro de. **Lise Meitner e a Fissão Nuclear: caminhos para uma narrativa feminista**. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 181, 2019.

LIMA, Larissa Cabral. **Trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie pautada em aspectos sociais, políticos e de gênero**. Monografia (Licenciatura em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2022.

LOMBARDI, José Claudinei; COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. Fundamentos da Pedagogia Histórico-Crítica. In: LOMBARDI, José Claudinei. COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. ORSO, Paulino José. **Pedagogia Histórico-Crítica e Prática Pedagógica Transformadora**. Uberlândia: Navegando publicações, 2021.

LOPES, Maria Margaret. *et al.* Intersecções e interações: Gênero em Ciências e Tecnologias na América Latina. In: VESSURI, Hebe, KREIMER, Pablo, VELHO, Léa (Orgs.) **Estudos Sociais das Ciências e Tecnologias na América Latina**. Buenos Aires: Esocite, 2014.

MALANCHEN, Julia. Currículo escolar e pedagogia histórico-crítica: Formação emancipadora e resistência ao capital. In: LOMBARDI, José Claudinei. COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. ORSO, Paulino José. **Pedagogia Histórico-Crítica e Prática Pedagógica Transformadora**. Uberlândia: Navegando publicações, 2021.

MARSIGLIA, Ana Carolina Galvão *et al.* A Base Nacional Comum Curricular: um novo episódio de esvaziamento da escola no Brasil. **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 107-121, 2017.

MARTINS, Lígia Márcia; LAVOURA, Tiago Nicola. Materialismo histórico-dialético: contributos para investigação em educação. Curitiba: **Educar em Revista**, v. 34, n. 71, p. 223-239, set./out. 2018.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p.305-317, 2005.

MARX, Karl. **O capital**. São Paulo: Boitempo, 2013.

MASSI, Luciana. *et al.* Incorporação da Pedagogia Histórico-Crítica na Educação em Ciências: uma análise crítica dialética de uma revisão bibliográfica sistemática. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 2, p. 212-255, ago. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n2p212>.

MATTHEWS, Michael Robert. **Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science Education**. New York: Routledge, 2 ed, 478 p., 2015.

MESSEDER NETO, Hélio da Silva. O Ensino da Química na Pedagogia Histórico-Crítica: Considerações sobre conteúdo e forma para pensarmos o trabalho pedagógico concreto. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 2, p. 271-293, 2022.

MESSEDER NETO, Hélio; TEIXEIRA, Lucas André; COLTURATO, Andriel. A categoria trabalho como mediadora entre a transformação e a prática social no Ensino de Química: entrevista com Hélio Messeder Neto. In: TEIXEIRA, Lucas André; MASSI, Luciana. (org.). **O papel do conhecimento científico na formação da concepção dos estudantes: desafios da pesquisa em ensino de ciências e de sociologia no Brasil**. Lutas Anticapital, 2022, p. 7-269.

MINELLA, Luzinete Simões. Temáticas prioritárias no campo de gênero e ciências no Brasil: raça/etnia, uma lacuna?. **Cadernos Pagu**, Campinas, n. 40. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-83332013000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22/11/2023.

NETTO, José Paulo. **Introdução ao estudo do método de Marx**. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular, 64 p. abril 2011.

PAULING, Linus. **The Place of Chemistry in the Integration of the Sciences**. Main Currents, Vol. 7, p.108–111, 1950.

PAULO NETTO, José. **Introdução ao estudo do método de Marx**. São Paulo: Expressão popular, 2011.

PASQUALINI, Juliana Campregher. Dialética singular-particular-universal e sua expressão na pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações. Botucatu: **Simbio-logias**, v.12, n. 17, p.1-16. 2020.

PASQUALINI, Juliana Campregher. **Seis teses histórico-críticas sobre o currículo escolar e o problema da especificidade da educação infantil**. Campinas: Unicamp, 52 p. 2018.

PINTO, Álvaro Vieira. **Ciência e existência: problemas filosóficos da pesquisa científica**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2020.

PIRES, Izadora dos Santos; MESSEDER NETO, Hélio da Silva. A Tríade Conteúdo-forma-destinatário: Uma Análise das Práxis Pedagógicas do Ensino de Ciências Orientadas pela Pedagogia Histórico-crítica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1–36, 2022. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2022u873908.

PORTO, Paulo Alves. Michael Sendivogius on Nitre and the Preparation of the Philosophers' Stone. **Ambix**, p. 1-16, 2001. DOI: 10.1179/amb.2001.48.1.1.

RAGAI, Jehane; رجائي جيهان. The Philosopher's Stone: Alchemy and Chemistry. **Journal of Comparative Poetics (JSTOR)**, n. 12, p. 58–77, 1992. DOI: <https://doi.org/10.2307/521636>.

RAMBERG, Peter. J. The Death of Vitalism and The Birth of Organic Chemistry: Wohler's Urea Synthesis and the Disciplinary Identity of Organic Chemistry. **Ambix**, p. 170-195, 2000. DOI: 10.1179/amb.2000.47.3.170

RIBEIRO, Marcos Antônio Pinto; BEJARANO, Nelson Rui Ribas; SANTOS, Jailson Alves dos. A emergência da Filosofia da Química como campo disciplinar. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, v. 16, n. 2, 215–236, 2016.

ROSSITER, Margaret W. The Matthew Matilda effect in science. **Social Studies of Science**, v. 23, n. 2, p. 325-341, 1993.

RUDGE, David Wyss; HOWE, Eric M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. **Science & Education**, v. 18, p. 561-580, 2009.

RUTHERFORD, Ernest; CHADWICK, James; ELLIS, Charles Drummond. **Radiations from radioactive substances**. Cambridge University Press, 2010.

SANTANA, Carolina Queiroz; PEREIRA, Letícia dos Santos. O caso Alice Ball: uma proposta interseccional para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, vol. 43, nº 4, p. 380-389, nov. 2021.

SANTOS, Victor Ferreira Dias. **Entre o broto e a rosa do clássico: análise histórico-crítica do movimento dos conteúdos nos livros didáticos de química**. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana. Salvador, 293 p. 2020.

SAVIANI, Dermeval. Antecedentes, origem e desenvolvimento da pedagogia histórico-crítica. In: Marsiglia, Ana Carolina Galvão. **Pedagogia Histórico-crítica: 30 anos**. Campinas, SP: Autores Associados, 2011b.

SAVIANI, Dermeval. Caracterização geral da Pedagogia Histórico-Crítica como teoria pedagógica dialética da educação. In: LOMBARDI, José Claudinei. COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. ORSO, Paulino José. **Pedagogia Histórico-Crítica e Prática Pedagógica Transformadora**. Uberlândia: Navegando publicações, 2021.

SAVIANI, Dermeval. **Escola e Democracia**. Campinas: Autores Associados, 2008.

SAVIANI, Dermeval. **História das Ideias Pedagógicas do Brasil**. Campinas: Autores Associados, 2007.

SAVIANI, Dermeval. O conceito dialético de mediação na pedagogia histórico-crítica em intermediação com a psicologia histórico-cultural. **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, Salvador, v. 7, n. 1, p.26-43, jun. 2015.

SAVIANI, Dermeval. **Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações**. 11. ed. Campinas: Autores Associados, 2011a.

SCERRI, Eric. The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery. **Phil. Trans. R. Soc. A**, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0172>.

SENDIVOIGIUS, Michael. **The eleventh treatise**. In: *A New Light of Alchymy*. Tradução inglesa de John French. London: A. Clark for Tho. Williams, p. 30-36, 1674.

SILVA, Isabel Cristina Teixeira da; GOI, Mara Elisângela Jappe. História da Ciência em Livros Didáticos de Química Aprovados no PNLEM/2018. **Abakós**, v. 9, n. 1, p. 83-107, 27 maio 2021.

TROCHIN, D. M. O Movimento e o Desenvolvimento da Natureza e da Sociedade. In: Tchertkov, Viktor Petrovich; Molodtsov, Vasily Sergeevich; Tronchin; Moroz, Valentin Yakovlevich; Kalochin, F. I.; Ovtchinnikov, Nikolai; Belov; Gaidukov; Leonov, Mikhail Andreevich. **Materialismo dialético**. Rio de Janeiro: Vitória, 783 p, 1955.

VALERO, Rafaela; LEONARDO JÚNIOR, Carlos Sérgio; MASSI, Luciana; GOMES, Lucas Bombarda Marques. Análise marxista de elementos da concepção de ciência nos principais filósofos abordados na Educação em Ciências: aspectos ontológicos e epistemológicos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, p. 828–858, 2022. DOI: 10.5007/2175-7941.2022.e86571. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/86571>.

VÁZQUEZ, Adolfo Sánchez. **Filosofia da práxis**. São Paulo: Expressão Popular, 2007.

YOUNG, Robert Maxwell. Darwinism and the division of labour. **Science as Culture**, p. 110-124, jun./mar. 1990b.

YOUNG, Robert Maxwell. Marxism and history of science. In: OLBY, Robert Cecil. *et al.* (eds.) **Companion to the history of modern science**. London: Routledge, 1990a, p. 77-86.

ZATERKA, Luciana; MOCELLIN, Ronei Clécio. **Ensaio de História e Filosofia da Química**. São Paulo: Editora Ideias & Letras, 2022.

WAJCMAN, Judy. **Feminism Confronts Technology** Cambridge. **Polity Press**, 1996.

WILLIAMS, Robin; EDGE, David. 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 jun. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Narrativa histórica para ensino do conteúdo de radioatividade artificial por meio da história de Irène Joliot-Curie⁵

Além da radioatividade: as consequências de uma (nova) fonte de energia

Prólogo - As notícias do dia

Ao abrir a porta de sua casa, Fernanda pegou o jornal do dia que repousava no chão (Figura 1). Ela lançou um olhar rápido às manchetes e aos artigos, até que seus olhos se detiveram em uma seção específica - a seção científica. Era a parte do jornal que Fernanda esperava ansiosamente para ler. As palavras saltavam das páginas, trazendo notícias sobre um fenômeno que estava ganhando destaque: a radioatividade. Mais uma vez ao se deparar com o tema ela sentiu uma onda de curiosidade.

Fernanda vivia em um Brasil agitado, no calor de agosto de 1945. O país estava no meio de um século marcado por transformações e turbulências globais. As cicatrizes da Primeira Guerra Mundial estavam profundas, e embora a Segunda Guerra estivesse chegando ao fim, as tensões políticas continuavam a crescer. Nesse cenário conturbado, a ciência florescia, impulsionada tanto por avanços em áreas como energia e medicina quanto pelo contexto bélico.

A recente chegada do rádio ao Brasil e os boatos sobre a iminente aparição da televisão abriam novas possibilidades para os meios de comunicação. O jornalismo estava em plena efervescência, e a sede por informações era palpável. O jornal, mesmo com as perspectivas modernas, ainda era uma fonte vital de notícias, conectando as pessoas com o mundo. Nesse contexto, o jornalismo científico desempenhava um papel crucial e Fernanda estava atenta a isso. Ela tinha uma afinidade especial com a ciência e a escrita, uma combinação que a tornava uma aspirante a jornalista científica. E o conteúdo sobre a radioatividade era do tipo que a inspirava a contar histórias de cientistas e dos caminhos que percorreram para compreender tal fenômeno.

Enquanto lia sobre as diversas aplicações da radioatividade (Figura 1) - desde a criação de bombas devastadoras até a promessa de avanços médicos e energéticos - Fernanda começou a se questionar. Como um único fenômeno natural poderia ter usos tão contrastantes? Quem eram os responsáveis por essas descobertas? Quando elas foram feitas? Fernanda achou que o papel dela, como futura divulgadora da ciência, estava se moldando diante de seus olhos e que ela poderia ser uma ponte entre o conhecimento científico e o público, tornando informações complexas acessíveis a todos.

⁵ Esse material é uma produção colaborativa entre a autora dessa dissertação, a Prof^a Dr^a Nathália Helena Azevedo Pereira e a Prof^a Dr^a Luciana Massi, que está sendo preparado para ser publicado como capítulo de um livro que contará com diferentes narrativas históricas nesse mesmo formato.

Figura 1 - Representação de notícias de diferentes jornais brasileiros de 1945.

Brasil Vol nº 25 10 de agosto de 1945

Novo ataque com a bomba atômica

O objetivo desta vez, foi Nagasaki, um dos maiores portos do Japão - O comunicado do general Spaatz - O Departamento de Guerra dos EUA desmente que as zonas atingidas pela bomba atômica continuem a desenvolver radioatividade mortífera por longos anos. Entretanto, confirma-se que foi feito hoje, quinta-feira o segundo ataque com a "bomba atômica", assim como já havia sido feito há dois dias.

A informação veio direto de Nagasaki, um dos mais movimentados portos de todo o Extremo Oriente, é também poderosamente fortificado. O comunicado não declara se apenas uma, como em Hiroshima, ou se mais bombas atômicas foram atiradas. Seu texto é o seguinte: "Ocorreu ao meio dia de 9 de agosto, os membros da tripulação informam que foram bons os resultados.



FIGURA 1: BOMBA "LITTLE BOY" LANÇADA EM HIROSHIMA

A energia atômica também cura



FIGURA 2: MANIPULAÇÃO DE DROGAS RADIOATIVAS

Decididamente a velha frase de que "todo bem traz um mal e todo mal traz um bem" tem sua aplicação no que se refere à energia atômica. Depois de ter sido utilizada para destruir vidas humanas, os átomos bombardeados voltam-se para salvar vidas no tratamento do câncer. O rádio e os raios X são as radiações utilizadas na curieterapia e roentgenterapia (em homenagem aos seus descobridores).

PÁGINA 1

Brasil Vol nº 25 10 de agosto de 1945

Série: Os cientistas premiados nos últimos anos



Photo from the Nobel Foundation archive.
Otto Hahn
Prize share: 1/1

FIGURA 3: OTTO HAHN PREMIADO PELO NOBEL DE 1944

O cientista destacado hoje é Otto Hahn, premiado pelo Nobel de Química do ano passado (1944). Sua pesquisa se dava pelo bombardeamento de elementos com nêutrons, mas especificamente o bombardeamento do urânio que apresentava uma fenômeno nunca visto: a fissão nuclear. Dado o contexto atual, com o estabelecimento da estrutura atômica e a apropriação da radioatividade, sua contribuição tem sido de grande importância. Otto Hahn é um químico e físico alemão, rodeado por colegas como Lise Meitner, Otto Frisch, Fritz Strassmann e Enrico Fermi. Nascido em 1879, em Frankfurt, Hahn é considerado um dos químicos nucleares mais influentes do momento e segue com suas pesquisas nesta área.

O futuro da radioatividade na França

A França pode ser considerada um dos berços dos estudos acerca da radioatividade, já que abrigou as primeiras pesquisas e segue até hoje com avanços na área. Inicialmente esse fenômeno foi muito estudado no Instituto Rádio, um conjunto de laboratórios especializados nesse fenômeno e localizado na capital do país. Entretanto, pós períodos intensos de guerra, Irène Joliot-Curie (diretora do Instituto) e Frédéric Joliot-Curie, percebem que tais pesquisas deveriam estar em uma localização estratégica e não no centro da França. Por isso, os Joliot-Curie têm movido esforços para fundar um novo Instituto fora da capital. Pelas últimas declarações à imprensa, há indicativos que a construção esteja ocorrendo em Orsay, no interior do país. O novo conjunto de laboratórios deverá ser inaugurado em 1956, e pretende ser o novo centro de energia nuclear. Inclusive, o Instituto contará com o primeiro acelerador de partículas da França, um Síncrotron de prótons.



FIGURA 4: FRÉDÉRIC JOLIOT-CURIE NAS OBRAS

As linhas de pesquisa que serão contempladas com essa nova instituição estão alinhadas com as ambições acerca da radioatividade que têm circundado o mundo todo:

- Estudo da estrutura dos núcleos atômicos;
- Estudo do mecanismo das reações nucleares geradas por colisões de prótons ou projéteis mais pesados com núcleos estáveis;
- Desenvolvimento da física das altas energias.

Orsay contará com físicos e químicos experimentais que logo se juntarão a um grupo de teóricos, constituindo o núcleo da futura Divisão de Física Teórica Francesa.

PÁGINA 2

Fonte: <https://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>

Questão para pensar 1) Assim como Fernanda, reflita um pouco sobre essas questões acerca das produções da ciência e seus usos na sociedade. Como você enxerga essa relação?

Fernanda sentiu que estava diante de uma oportunidade de explorar para compreender melhor tais questões. Ela decidiu pesquisar quando e como esse fenômeno natural se transformou em uma ferramenta poderosa nas mãos da humanidade.

Para iniciar sua pesquisa, ela precisa de um ponto de partida, e assim o jornal da Figura 1 a fez lembrar que produções científicas de importância na ciência podem ser reconhecidas pelo prêmio Nobel. Assim, conferir as premiações dos últimos anos, tanto de química quanto de física, poderiam lhe dar alguma pista da origem desse conhecimento.

Na biblioteca (estamos em 1945!), ela recolhe os jornais dos últimos 10 anos para conferir todas as publicações da série “Os cientistas premiados nos últimos anos” e tentar perceber desde quando a ciência tem falado sobre isso. Destacando as premiações com o termo “radioatividade” ou outros termos que normalmente aparecem nas notícias sobre o tema, como “átomo”, “núcleo”, “fissão” etc., e o resultado da busca foi resumido da seguinte forma (Quadro 1):

Quadro 1 - Representação do quadro feito por Fernanda para organização de todos os prêmios Nobel sobre radioatividade entre 1935 e 1945.

Química		
Ano	Nome	Premiado(s) por
1935	Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie	Sintetizar um novo elemento artificialmente radioativo
1944	Otto Hahn	Descobrir a fissão nuclear
Física		
Ano	Nome	Premiado por
1938	Enrico Fermi	Descobrir novas reações e novos elementos produzidos pelo bombardeamento de núcleos atômicos com nêutrons lentos

Fonte: Elaboração própria.

Questão para pensar 2) Qual das premiações listadas você julgaria ser o início dos estudos que levaram aos atuais usos da radioatividade? No lugar de Fernanda, qual caminho de investigação você tomaria para tentar entender a história desse conhecimento?

Seção 1 - O início da investigação: 1935

Após fazer esse levantamento, Fernanda passa a ter um ponto de partida para a história. Os últimos 10 anos de premiações revelaram duas figuras: Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie. Com essas informações em mãos, Fernanda embarca em uma nova fase de levantamento de informações. Seu objetivo é entender quem eram esses cientistas, qual era o trabalho deles com a radioatividade e como esse conhecimento evoluiu até 1945, com usos tão diversos e polêmicos.

Na biblioteca, ela mergulha em outros materiais, como livros, artigos e revistas de química e física, a fim de encontrar informações sobre Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie. Entretanto, ela vai além, consultando livros de história, geografia e jornais franceses dos anos anteriores. Afinal, os Joliot-Curie eram franceses, e entender não apenas o conhecimento que produziram, mas também o contexto que os cercava é fundamental. O primeiro passo desse processo é resumir o que acontecia no ano em que receberam o prêmio, 1935. Eis o resumo que Fernanda elaborou:

“Era 1935, e Paris estava no centro das atenções. Quase duas décadas haviam se passado desde o fim da Primeira Guerra Mundial, e o mundo acompanhava os movimentos alemães e as tensões crescentes na Europa - prenúncios da Segunda Guerra Mundial que estava por vir. Enquanto isso, a industrialização estava a todo vapor, com avanços técnicos acelerados, um mundo cada vez mais conectado e o surgimento de novas máquinas e formas de produção.

Ou seja, este era um ano agitado, afinal o cenário pós-guerra exigiu reconstrução das cidades, enquanto as indústrias buscavam energia e matéria-prima em ritmo acelerado. Simultaneamente o clima pré-guerra estimulava a produção armamentista, de veículos e tudo o que favorecia a expansão territorial ou a proteção de territórios. Embora essas demandas tivessem origens diversas, estavam interconectadas pela ciência.

A ciência, inclusive, estava tentando compreender também irregularidades e desordens, mas especificamente as ciências da natureza, como a Química por exemplo, vinham estudando fenômenos a nível microscópico, mas não os aspectos sociais. Questões sobre a estrutura atômica e a descontinuidade da matéria ocupavam as discussões recentes. Eram propriedades que ainda não podiam ser completamente dominadas, e por isso não eram utilizadas para atender às demandas da sociedade. Em meio a essas discussões, uma cientista se destacava: Irène Joliot-Curie. Ela estava imersa na pesquisa sobre raios alfa e o decaimento de elementos radioativos como rádio e polônio. Seu objetivo era compreender e dominar a radioatividade, buscando maneiras de reproduzi-la em laboratório.”

Questão para pensar 3) Como seria estar no meio desse turbilhão de eventos, em 1935, em um mundo em transformação após a Primeira Guerra Mundial e à beira de outra grande guerra, com indústrias em ascensão, novas tecnologias surgindo e tensões geopolíticas aumentando? Como cientista vivendo no meio de tensões políticas e incertezas globais, você acha que se preocuparia com questões políticas e sociais?

Seção 2 - Quem eram eles e por que a radioatividade?

Seguindo seu levantamento, Fernanda passa a buscar materiais específicos sobre Irène e Frédéric e suas pesquisas, para entender como eles chegaram no conhecimento que lhes rendeu o prêmio Nobel. Eis as anotações de Fernanda:

“Irène é filha de Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), vencedores do prêmio Nobel em 1903 pela colaboração à descoberta da radioatividade espontânea, juntamente com Antoine Henri Becquerel (1852-1908). Essa parceria

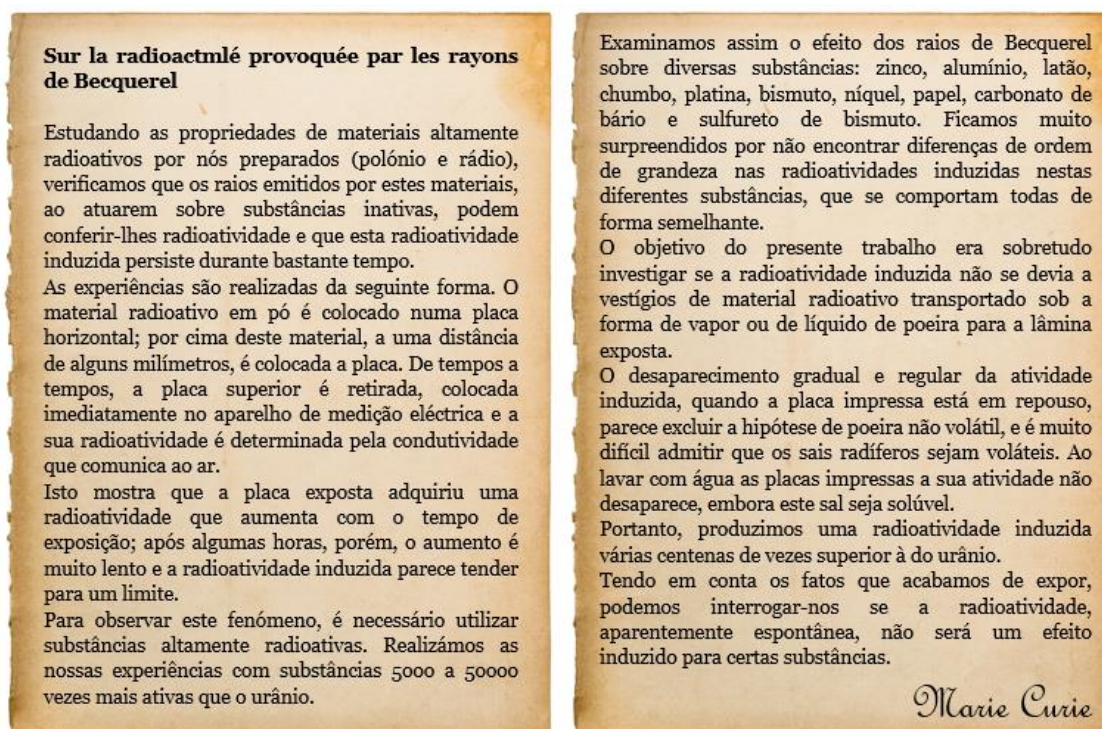
histórica dos seus pais chegou ao fim em 1906, quando Pierre faleceu, mas esse fato não impediu que Marie seguisse trabalhando em suas pesquisas sobre radioatividade. Ela estava desenvolvendo técnicas de isolamento e de produção dos elementos que ela nomeou, o rádio (Ra) e o polônio (Po), por isso tinha grande influência nas quantidades dessas substâncias disponíveis na França e até no mundo. Em suas últimas pesquisas desenvolvidas, Marie explorou as interações entre os raios emitidos por esses elementos e outros materiais, ou seja, tentativas de mapear os efeitos da radiação.

Em todos os seus trabalhos desenvolvidos ao longo da carreira, Marie esteve envolta pela preocupação quanto aos fins que seus resultados teriam, ou seja, como seriam usadas suas produções científicas. Na época da radioatividade natural premiada, ela e Pierre decidiram não patentear o fenômeno, pois acreditavam ser esse um conhecimento pertencente à humanidade, e não aos cientistas que o produziram. Nos últimos anos de vida nos quais trabalhou com a filha, ela vinha também compartilhando essas ideias com Irène, que por sua vez, tem seguido o mesmo caminho encarando a ciência como uma produção do homem e para o homem.

Deste modo, elas estiveram juntas tentando apropriar-se cada vez mais da radioatividade em laboratório, acreditando que quanto mais conhecimento se tem sobre algo, mais autonomia você terá sobre isso. Marie passou então a utilizar a radioatividade natural em laboratório com suas poderosas fontes de polônio (Po) e rádio (Ra) para estudar a interação dos raios emitidos com a matéria, mais especificamente com outros elementos”.

Quanto a isso, Fernanda encontrou o artigo de Marie acerca destes experimentos (Figura 2):

Figura 2 - Representação fictícia de um artigo de Marie Curie.

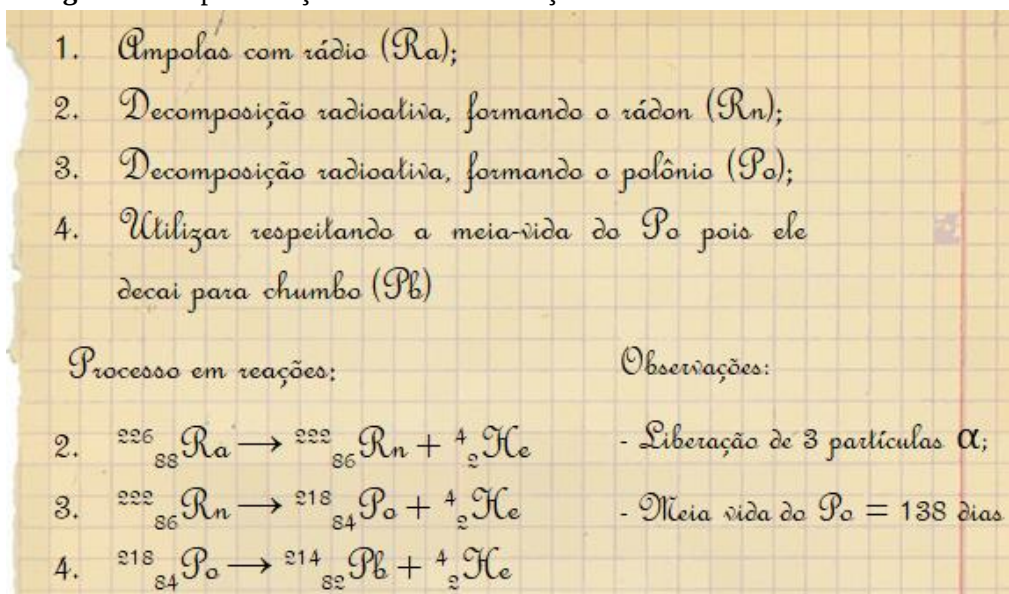


Fonte: <https://www.biodiversitylibrary.org/page/4794157#page/784/mode/1up>

“As pesquisas sobre as formas de utilização da radioatividade não eram de interesse apenas da família Curie e dos funcionários do Instituto Rádio, o mistério a respeito do fenômeno tornou-se de grande valia para diferentes cientistas, pois sua compreensão poderia promover diferentes usos⁶. Walther Bothe (1891-1957) e Herbert Becker (1887-1955), por exemplo, estavam bombardeando boro (B) e berílio (Be) com partículas α , provenientes também de uma fonte de Po, notando que os elementos emitiam uma radiação de baixa intensidade, porém, mais penetrante que os raios gama (γ). Irène, juntamente com o novo funcionário do Instituto, que posteriormente se tornaria seu marido, Frédéric Joliot-Curie (1900-1958), repetiu esse experimento, já que eles possuíam a fonte poderosa de Po produzida por Marie.”

A Figura 3 traz as anotações a respeito dessa investigação, mas diz respeito especificamente à fonte de Ra decaindo para Po que foi produzida por Marie desde quando isolou o Ra. Estes são, inclusive, os materiais preparados por ela com alta emissão de partículas alfa citados em seu artigo representado na Figura 2. Por isso, era de uso exclusivo dos cientistas do Instituto Rádio, o que lhes dava certa vantagem nas investigações em que precisavam bombardear outros elementos. Esse trecho trata-se também de um achado de Fernanda na biblioteca:

Figura 3 - Representação fictícia das anotações laboratoriais de Irène e Frédéric.



1. Ampolas com rádio (Ra);

2. Decomposição radioativa, formando o rádion (Rn);

3. Decomposição radioativa, formando o polônio (Po);

4. Utilizar respeitando a meia-vida do Po pois ele decai para chumbo (Pb)

Processo em reações:	Observações:
2. ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$	- Liberação de 3 partículas α ;
3. ${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^4_2\text{He}$	- Meia vida do Po = 138 dias
4. ${}^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{214}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$	

Fonte: Elaboração própria.

⁶Em 1909 outros países, como Áustria e Estados Unidos, criaram os primeiros centros destinados ao estudo da radioatividade e suas possíveis aplicações, a França então realizou um projeto de colaboração entre a Faculdade de Ciências de Paris e o Instituto Pasteur (estreita ligação entre a investigação básica e a investigação médica já que o rádio já tinha apresentado resultados em aplicações médicas) para instalar um novos laboratórios especializados em radioatividade no país, o Instituto Rádio, sob a direção de Marie Curie.

“Eles também notaram essa misteriosa radiação ao bombardearem Be, e com um contador de partículas de Geiger⁷ melhorado, mediram a intensidade da emissão radioativa, e com uma câmara de nuvens⁸, fotografaram pistas deixadas pelas partículas α emitidas. Eles encontraram a mesma radiação energética de Bothe, capaz de atingir um fino pedaço de parafina [rica em hidrogênio (H) ligados a átomos de carbono (C)] e os núcleos dos H presentes nesse material, rapidamente eram ejetados.

Os Joliot-Curie's alegaram que eram fótons energéticos sendo emitidos do Be irradiado, mas erraram no cálculo sobre a quantidade de energia necessária para tal fenômeno. Apesar de apresentarem pistas para tal descobrimento, foram James Chadwick (1891-1974) e Ernest Rutherford (1871-1937) os responsáveis por demonstrar que eram na verdade nêutrons, partículas subatômicas sem carga, o que os fez ganhar o Nobel ainda em 1935. Além disso, os Joliot-Curie's não conseguiram interpretar o movimento das partículas carregadas na câmara de nuvem de Wilson⁴, mas suas experiências também forneceram a prova da existência do elétron positivo, o pósitron. Carl D. Anderson (1905-1991) e Victor Hess (1883-1964) o descobriram oficialmente por meio do estudo dos raios cósmicos e ganhariam o prêmio Nobel no ano seguinte, 1936.”

Questão para pensar 4) Pensando em organizar os conhecimentos até aqui levantados por Fernanda sobre o nêutron e o pósitron, organize o papel desempenhado por cada cientista que participou de alguma forma (o que cada um fez). Quais as diferentes interações entre seus trabalhos que podem ter contribuído para esses processos?

Seção 3 - Artificialização de um fenômeno natural

Nesta etapa do levantamento, Fernanda passa a investigar especificamente os trabalhos de Irène e Frédéric que os fizeram produzir um elemento artificialmente radioativo, premiado pelo Nobel:

“As produções científicas que Irène e Frédéric presenciaram e contribuíram acabaram sendo atribuídas a outros cientistas, mas eles ainda seguiam na área e mantinham suas pesquisas. Assim, continuaram os experimentos sobre o bombardeamento de elementos com raios α (massa 4 u), e nisso, passaram a bombardear alumínio (Al - massa atômica 27 u e número atômico 13), não mais Be, com a fonte de Po em decomposição radioativa e detectaram prótons. Além das

⁷Johannes Hans Geiger (1882-1945) inventou o contador Geiger que funciona da seguinte maneira: quando a radiação entra pelo tubo contendo argônio, este gás é ionizado, e seu íon fecha o circuito elétrico do aparelho, que é composto de eletrodos de cargas elétricas opostas. Com a formação dos íons, conduz-se eletricidade entre o cátodo e o ânodo, acionando, assim, um contador ou alto-falante.

⁸Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) inventou a câmara de nuvens ou câmara de Wilson que funciona da seguinte maneira: uma câmara com interior saturado de vapor d'água ao ser bombardeada por partículas provenientes de um feixe de raios X ou uma fonte de raios gama, ioniza o gás presente na câmara. Os íons gasosos formados funcionam como núcleos de condensação do vapor, portanto ao se notar condensação, é verificada a existência das partículas emitidas. Tal fenômeno é capaz também de deixar a marca do líquido condensado por onde a partícula passa, por isso seu uso para análise das trajetórias de emissões.

partículas positivas, observaram nesse experimento um elemento radioativo de número atômico 15 (massa atômica 30 u) e um nêutron (n - massa 1 u), como produtos da reação de bombardeamento. Este elemento produzido era inédito, pois não estava na sua forma natural, e sim numa configuração artificial produzida através da radiação emitida pelo Po e induzida no Al.

Com isso, foram para a *Seventh Solvay Conference* em Bruxelas, onde apresentaram esse resultado à comunidade física de elite. Porém, o evento não foi como esperavam e alguns dos cientistas não concordaram com o que lhes foi mostrado.”

Veja a fotografia dessa conferência que Fernanda encontrou em um jornal francês (Figura 4).

Figura 4 - Conferência de Solvay com a presença de Marie Curie, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner, além de outros físicos



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Solvay1933Large.jpg>

“Ao retornarem a Paris, continuaram as experiências e confirmaram seus resultados: a reação nuclear de bombardeamento do Al com α tinha massa atômica de $27 + 4 = 30 + 1$ e o número de prótons (número atômico) $13 + 2 = 15 + 0$ (conservação de massa e de carga) produzindo um elemento desconhecido e nêutron. Já o seguinte passo do fenômeno se deu através da transmutação desse elemento produzido (massa atômica 30 u e número atômico 15) em silício (Si - massa atômica 30 u e número atômico 14) e um pósitron (massa atômica 0 e número atômico 1). Ou seja, o erro tinha sido na identificação de próton, que na verdade não é produzido nessa reação de indução radioativa do Al, e sim a antipartícula pósitron⁹. Nesse momento eles têm certeza de que artificializaram o fenômeno da radioatividade, uma vez que essa partícula (antimatéria) e o elemento que se transmutou em Si, não existem naturalmente mas estavam ali, em seus resultados laboratoriais.

Portanto, na série das duas reações nucleares, o Al converte-se em Si estável com liberação de um nêutron no primeiro passo e um pósitron no segundo, com um elemento artificial como intermediário da reação.”

⁹ Antipartículas são partículas com características simétricas às partículas elementares comuns, tendo a mesma carga e massa, apenas com sinais opostos. Assim, a colisão entre uma partícula e sua antipartícula resultaria no aniquilamento das duas entidades. O pósitron por exemplo, é oposto ao elétron, sendo então um “elétron positivo”.

Fernanda percebeu e leu em diferentes revistas da época que eles haviam então conseguido fazer em laboratório a transmutação de elementos. Ela encontrou também o artigo de publicação da descoberta (Figura 5):

Figura 5 - Trecho de um dos artigos que Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie publicaram sobre a descoberta da radioatividade artificial.

I. PRODUCTION ARTIFICIELLE D'ÉLÉMENTS RADIOACTIFS
II. PREUVE CHIMIQUE DE LA TRANSMUTATION DES ÉLÉMENTS

Par M^{me} IRÈNE CURIE et F. JOLIOT.
 Institut du Radium de Paris.

Sommaire. — Le bore, le magnésium et l'aluminium, après irradiation par les rayons α du polonium montrent une radioactivité durable qui se manifeste, dans le cas de B et Al, par l'émission de positrons, tandis que dans le cas de Mg il y a émission d'électrons négatifs et de positrons. Des radioéléments ont été créés par transmutation.

Leur destruction suit une loi exponentielle; la décroissance de moitié a lieu en 14 min., 2 min. 30 sec., 3 min. 15 sec., pour B, Mg et Al respectivement. Elle est indépendante de l'énergie des rayons α excitateurs.

Le rayonnement émis par Al et B irradiés est exclusivement composé de positrons sans électrons négatifs, et forme un spectre continu comme le spectre naturel de rayons β des corps radioactifs. L'énergie maximum du rayonnement de positrons est de l'ordre de $4,5 \times 10^6$ eV pour B, 3×10^6 eV pour Al.

Les électrons positifs et négatifs de Mg forment deux spectres continus et correspondant sans doute à la transmutation de deux isotopes de Mg.

Ces éléments radioactifs nouveaux sont probablement des noyaux $^{13}_7\text{N}$, $^{27}_{14}\text{Si}$, $^{28}_{13}\text{Al}$, $^{30}_{15}\text{P}$, formés à partir des noyaux $^{10}_5\text{B}$, $^{24}_{12}\text{Mg}$, $^{25}_{12}\text{Mg}$ et $^{27}_{13}\text{Al}$.

On a séparé chimiquement, du bore et de l'aluminium, les éléments radioactifs qui s'y forment par irradiation, lesquels présentent, comme il était prévu, les propriétés chimiques de l'azote et du phosphore respectivement. Ces expériences constituent la première preuve chimique des transmutations artificielles.

On propose d'appeler radioazote, radiosilicium, radioaluminium, radiophosphore les nouveaux radioéléments.

Fonte: <https://encr.pw/Zdvxn>

Neste momento do levantamento, Fernanda tem encontrado dificuldades na interpretação desses resultados e experimentos. Ela passa a tentar aprofundar sua compreensão consultando agora em livros de química.

Questão para pensar 5) No lugar da Fernanda, como você interpretaria o trabalho do casal utilizando a química: quais são as reações envolvidas no processo descrito no texto? Qual elemento foi artificialmente produzido por eles? E a fim de entender a especificidade desse conhecimento, quais as diferenças entre os três fenômenos já abordados até aqui e em qual momento do experimento cada um aparece: radioatividade natural, radioatividade induzida e radioatividade artificial?

Com mais informações sobre os conhecimentos que eles produziram, agora passa a ser possível tirar conclusões sobre o que é, afinal, uma produção ao alcance da maior premiação da ciência. Isso porque, para realmente entender essa história, Fernanda acha que precisa compreender não só como esse conhecimento foi desenvolvido, mas também qual foi o impacto dele na ciência para dimensionar sua importância.

Questão para pensar 6) Como Fernanda poderia entender quais as características particulares da radioatividade artificial que os fizeram ganhar o Nobel? O que fez dessa produção científica ser considerada suficiente para ser premiada?

Seção 4 - Premiados, e agora?

Com o avanço do levantamento, Fernanda entendeu que Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie foram premiados porque reproduziram em laboratório um fenômeno que antes era observado apenas em sua forma natural. Ou seja, através da radioatividade natural do Po, induziram a radioatividade no Al e produziram um elemento artificialmente radioativo que transmutava-se em Si. Assim, a ciência permitiu que o homem controlasse e possivelmente, usasse a seu favor, um fenômeno que antes lhe era alheio. Agora, ela segue mapeando o que aconteceu com esse conhecimento e com seus precursores depois da premiação:

“A repercussão da premiação foi impactante para ambos, Frédéric foi promovido a diretor de pesquisa da *Centre Nationale de la Recherche Scientifique* (CNRS) e aceitou a cadeira de física e química nuclear no *Collège de France*. Irène o substituiu no cargo da Universidade de Paris, além de estar no comando do Instituto Rádio como diretora de pesquisa. E a partir de então, eles praticamente controlavam todo o trabalho nuclear da França, inclusive, influenciando a fundação do Laboratório de Síntese Atômica, para que radioelementos artificiais fossem produzidos em massa.

As consequências de uma premiação como essa devem ser enormes, inclusive agora em 1945 Frédéric foi condecorado com o *Croix de Guerre*, promovido a comandante da *Legion d'honneur* e nomeado chefe do CNRS, onde colabora para a reconstrução de grande parte da comunidade científica francesa especializada em radioatividade. Além disso, foi nomeado Alto Comissário da Comissão da Energia Atômica, na mesma comissão em que Irène foi nomeada membro e deverá cumprir cinco anos de mandato, e ano que vem provavelmente será nomeada chefe da *section chimie*. Assim, com o prêmio e novas responsabilidades, eles passam a expressar opiniões pessoais que podem ter maior impacto, inclusive, em uma das falas públicas de Irène, ela fala sobre sua posição de representatividade:

- Não sou daquelas que pensam que uma mulher [cientista] pode desinteressar-se do seu papel de mulher, seja na vida privada ou pública. Se [o prêmio Nobel] estiver impulsionado meu nome, o nome de uma mulher, um pouco mais à fama [...], sinto que é meu dever afirmar certas ideias que acredito serem úteis para todas as mulheres francesas. Por isso, tenho aceitado cargos em várias reuniões onde são discutidos os direitos das mulheres.”

Fernanda tem percebido outras questões acerca da história que extrapolam o conhecimento produzido e dizem respeito à como a ciência funciona. Então, conferindo seus últimos textos, ela gostaria de tirar algumas conclusões sobre isso com as informações que ela já coletou. Sendo elas, as fotos oficiais de Irène e Frédéric (Figura 6) para o prêmio que ela achou em uma notícia, a foto do congresso que eles participaram em Solvay que ela encontrou em um livro (Figura 4), os diferentes cargos e reconhecimentos recebidos pelos dois após a premiação.

Questão para pensar 7) Quais conclusões Fernanda poderia tirar a respeito da ciência com os fatos dessa história? Quais informações podem ser obtidas a partir das fotos? Como podemos descrever as pessoas nelas? Nesse caso, a ciência e suas formas de premiações podem ser percebidas como um ambiente inclusivo para diferentes pessoas?

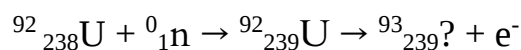
Seção 5 - E o conhecimento, para onde foi?

Depois de perceber que Frédéric foi mais reconhecido do que Irène, com cargos e prêmios, além de notar que as fotografias não valorizam a presença das mulheres na ciência, Fernanda segue com a pesquisa. Pois a ciência é formada por pessoas, mas se define também pelos seus conhecimentos produzidos. Então nessa etapa, ela tem buscado entender quais rumos a radioatividade artificial tomou depois de ser grandemente reconhecida com o prêmio.:

“Nota-se que ambos se mantiveram envolvidos nos rumos do conhecimento que produziram, afinal, o fenômeno da radioatividade foi finalmente artificializado e colocado à disposição do uso humano. Frédéric ficou mais envolvido com questões políticas e burocráticas dos caminhos que a energia nuclear tomaria no país, enquanto Irène se manteve no seio da produção científica. Além disso, as contribuições para a ciência como um todo da produção do casal Joliot-Curie foram imensas, além de campos como medicina e geologia, destaca-se a criação da química e física nuclear, especializadas em estudar a energia proveniente do núcleo atômico.

Por isso, assim como Irène, outros cientistas também estavam interessados na transmutação artificial, mas o foco passou a ser o bombardeamento de elementos com nêutrons, ao invés de partículas alfa. Tal interesse, tornou-se na verdade, uma corrida para se apropriar e obter resultados confiáveis acerca do fenômeno. Isso porque, os cientistas já tinham notado que a produção de elementos artificialmente radioativos era o caminho que permitiria enfim o controle da radioatividade e o uso da energia proveniente do núcleo atômico.

Enrico Fermi (1901-1954), por exemplo, era um professor de física teórica em Roma interessado nesse fenômeno, então bombardeou com nêutrons todos os elementos da tabela periódica a fim de entender os efeitos provocados na estrutura atômica. Ele fazia isso na ordem de número atômico da tabela, até que chegou no urânio (U - número atômico 92) e teve dificuldades, devido a radioatividade natural que ele emite. A reação de bombardeamento era a seguinte:



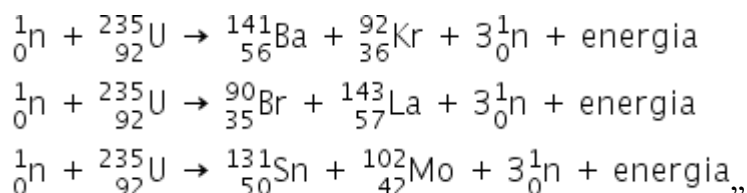
Ou seja, a dificuldade era identificar o que se produzia depois de desestabilizar o núcleo do urânio. Enquanto isso, Irène em colaboração com o físico Pavle Savić (1909-1994), estava tentando caracterizar esse produto formado pelo bombardeamento do U com nêutrons. Eles relataram um possível isótopo de tório (Th - número atômico 90) e um novo isótopo desconhecido com uma meia-vida de 3,5 horas semelhante ao lantânio (La - número atômico 57), que eles acreditam ser um tipo de elemento transurânico.

Após publicarem esses resultados, Otto Hahn (1879-1968) e Lise Meitner (1878-1968), que já estavam pesquisando sobre o fenômeno, observaram em suas experiências esse mesmo La, mas também bário (Ba - número atômico 56), ambos com um número atômico inferior ao do U. O que foi uma surpresa, pois os cientistas esperavam um aumento do número atômico no bombardeio com nêutron, por isso a identificação era difícil. Assim, eles escreveram um trabalho nomeado "Desintegração

do urânio por nêutrons: Um novo tipo de reação nuclear", caracterizando a fissão do núcleo do U em dois outros núcleos mais leves. Em uma das falas de Otto durante discussões em Kungälv com Lise e outros físicos, ele tenta explicar:

- O núcleo de urânio era uma gota instável, pronta para ser dividida com uma mínima perturbação (como o impacto com um nêutron). Mas havia um outro ponto: quando o núcleo de urânio fosse dividido em duas partes por causa da repulsão eletrostática, seriam produzidos cerca de 200 MeV; de onde viria essa energia? [...] A massa final seria inferior à inicial, e quando desaparece a massa, aparece energia.

Ou seja, foi apresentado à comunidade científica o fenômeno da fissão nuclear do U, no qual o núcleo instável de U é desestabilizado com o bombardeamento de um nêutron e ele divide-se em outros dois núcleos de diferentes elementos. Existiam algumas possibilidades de formação desses núcleos formados, a depender da composição e condições da reação. Inclusive o La pode ser produzido, o que significa que mais uma vez, Irène estava certa sobre alguns apontamentos que fez e que possivelmente colaboraram para as conclusões de outros cientistas. A seguir algumas das reações de fissão possíveis e seus produtos:



Fernanda retomou o jornal (Figura 1) em que ela leu as notícias e percebeu que foi por essa descoberta que Otto Hahn foi premiado pelo Nobel em 1944. Portanto, ela conseguiu partir de uma descoberta mais antiga da ciência, que escolheu por pesquisas dos nomes premiados pelo Nobel de 10 anos antes, e traçar uma trajetória histórica até entender porque um conhecimento científico foi capaz de movimentar tanto o mundo.

Além disso, com os resultados obtidos por Irène e pelos outros cientistas da história, Fernanda gostaria de entender mais sobre esse fenômeno da fissão nuclear, pois pode gerar diferentes produtos mesmo se tratando da mesma reação. Para isso, ela busca as diferentes reações a fim de identificar algo em comum entre elas, para estabelecer um padrão.

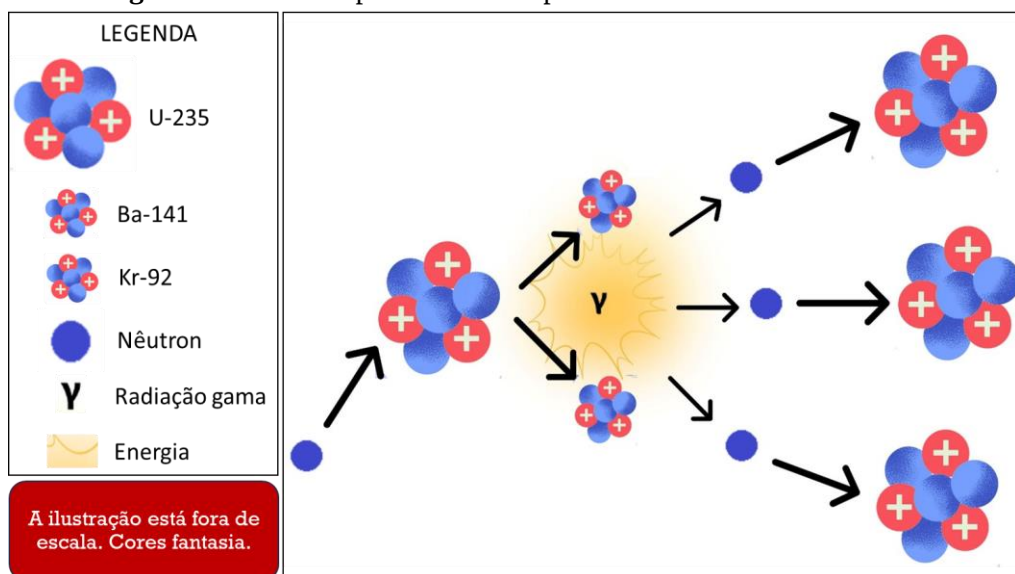
Questão para pensar 8) Compare as possíveis reações de fissão nuclear do U a fim de identificar o que há em comum entre elas (além dos mesmos reagentes) e apontar a especificidade desse tipo de reação. Depois, aponte se as reações que você escreveu na questão 5 podem ter as mesmas características, mesmo se tratando de elementos bombardeados e partículas diferentes.

Seção 6 - A fissão nuclear

Fernanda percebeu que em todas as reações há a utilização de um nêutron enquanto há produção de outros três, além disso, em todas as possibilidades a reação libera energia, ela só

não sabe ainda de quais tipos de energia se trata. Para observar melhor o mecanismo, Fernanda desenhou um esquema (Figura 6) de como isso aconteceria:

Figura 6 - Modelo representativo do processo de fissão nuclear do urânio



Fonte: Elaboração própria

Deste modo, Fernanda concluiu que os nêutrons produzidos pela reação inicial de bombardeamento do U com nêutron, irão colidir com outros três urânios e desencadear outras três reações, que por sua vez produzirão outros três nêutrons cada uma que também colidirão com outros urânios... Infinitamente? Não, mas enquanto tiver U disponível para ser bombardeado. Inclusive, ela descobriu que esse fenômeno foi nomeado em 1944 e os cientistas têm chamado de reação em cadeia.

Questão para pensar 9) Com base no modelo que Fernanda elaborou, quais devem ser os três principais tipos de energia que ela pode afirmar que são produzidos por essa reação? Além disso, considerando que a reação ocorre milhares de vezes seguidas devido ao efeito em cadeia, a energia liberada será correspondente, ou seja, em grande quantidade. Você poderia propor ou imaginar alguns usos para essa fonte de energia?

Fernanda destaca no final do seu levantamento que com o fenômeno controlado, a energia produzida também pode ser controlada de acordo com os interesses de quem a utiliza. Agora, para finalizar o trabalho, ela gostaria de concluir dimensionando os impactos da descoberta de Irène e Frédéric nas utilizações da radioatividade atualmente, em 1945, 10 anos após o Nobel recebido. Pois ela notou que as pesquisas sobre a apropriação da radioatividade foram fortemente direcionadas para que se tornasse uma nova fonte de energia para o mundo, mas seus resultados não foram utilizados apenas para isso.

Questão para pensar 10) Quais os principais impactos que o trabalho de Irène e Frédéric proporcionou para o mundo que estava em guerra? É possível dimensionar os impactos que um conhecimento produzido proporcionará? Ele pode ser guiado a fim de atingir apenas o objetivo

inicial? Os cientistas que os produziram têm responsabilidades sobre o que a descoberta deles foi capaz de proporcionar para a ciência e para o mundo? Por quê?

APÊNDICE B - Material complementar da narrativa histórica¹⁰

ALÉM DA RADIOATIVIDADE: AS CONSEQUÊNCIAS DE UMA (NOVA) FONTE DE ENERGIA

Conteúdo prévio: Partículas subatômicas (nêutron, próton, elétron, etc), radioatividade natural, decaimento radioativo, partículas radioativas (alfa, beta e gama) e isótopos;

Conteúdo: Aplicações da radioatividade [radioatividade induzida, radioatividade artificial e fissão nuclear (geração de energia x produção de bombas)];

Aspectos de natureza da ciência:

- Artificialização da natureza;
- Espectro de motivações do fazer científico;
- Colaborações ou competições entre cientistas: revisão por pares, erros e incertezas, explicações alternativas;
- Credibilidade dos meios de socialização do conhecimento científico (revistas, publicações, congressos, jornais, etc.)
- Papel do preconceito de gênero;
- Responsabilidade social dos cientistas.

Problema investigativo: Como produzir radioatividade visando atender a demanda energética do século XX?

Algumas considerações sobre a narrativa e as “questões para pensar”

Este material tem o objetivo de apontar algumas considerações tanto a respeito da narrativa histórica, nomeada “Além da radioatividade: a apropriação de uma (nova) fonte de energia”, quanto sobre suas “questões para pensar”. A história tal qual é retratada nesse caso, é a de uma futura jornalista científica que em 1945 ao ler o jornal, decide investigar a história da radioatividade para tentar entender e divulgar, como esse conhecimento foi capaz de proporcionar usos tão diferentes no século XX. Inclusive, essa é a personagem da qual o aluno irá assumir o papel, pois ele poderá refletir e propor ideias como se fosse a própria jornalista investigando a história.

Por abordar um conteúdo químico específico, é importante que o docente faça uso da narrativa em uma segunda aula sobre o tema, assim os alunos poderão investigar a história já com os conhecimentos prévios bem determinados. Até porque, como sugere o tema, a ideia é que os alunos possam ir além da radioatividade comumente ensinada, na tentativa de fazê-los entender a grandiosidade das aplicações e desdobramentos que esse conhecimento teve no século XX. Tal entendimento deverá acontecer ao longo da narrativa toda, até porque, mesmo a história acompanhando o trabalho de uma jornalista, o que interessa mais ao caso é a história sobre a qual ela investiga. Ou seja, a história da radioatividade de fato, que mais especificamente trata da descoberta da radioatividade artificial de Irène Joliot-Curie e Frédéric

¹⁰ Esse material deverá ser publicado juntamente com a narrativa histórica, já que tem o objetivo de explicitar para o professor as expectativas quanto às respostas das questões e os aspectos de natureza da ciência que estão sendo mobilizados.

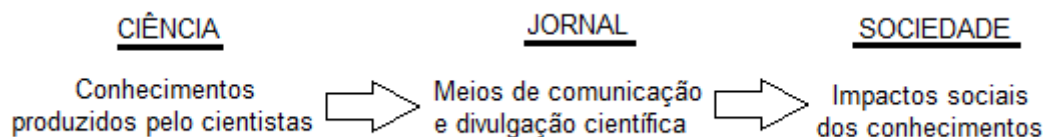
Joliot-Curie, já que é a partir disso que a radioatividade pode ser controlada e utilizada de fato pelo homem.

Deste modo, a narrativa acompanha uma investigação sobre a vida e a carreira de dois cientistas, sendo capaz de não só ensinar o conteúdo proposto, mas também abordar diferentes aspectos de natureza da ciência. Tais aspectos aparecem implicitamente ao longo do caso, mas é durante as “questões para pensar” que eles serão explicitados e discutidos pelos próprios alunos junto com o conteúdo. Por isso, elas devem ser preferencialmente aplicadas de maneira intercaladas à história, a fim de contemplar a função de guiar a investigação, a história e o conteúdo.

Questão para pensar 1

Assim como Fernanda, reflita um pouco sobre essas questões acerca das produções da ciência e seus usos na sociedade. Como você enxerga essa relação?

Nessa questão os alunos já tiveram contato com a personagem da jornalista e com as motivações que a levaram a investigar a história da radioatividade, mas ainda não com o conteúdo de fato. Por isso, aqui espera-se mobilizar apenas aspectos de natureza da ciência, especificamente o de **responsabilidade social dos cientistas**, já que ela se preocupa em buscar o responsável pelo conhecimento que proporcionou tudo o que ela estava lendo nas notícias. Além de poder explorar também o de **credibilidade dos meios de socialização do conhecimento científico**, já que tais notícias foram lidas em um jornal e que se geraram preocupações, é porque o leitor confia nessa fonte de informações. Assim, o docente pode tentar focar nessas discussões, buscando fazer com que o aluno reflita sobre a conexão entre ciência e sociedade da seguinte forma:



Questão para pensar 2

Qual das premiações listadas você julgaria ser o início dos estudos que levaram aos atuais usos da radioatividade? No lugar de Fernanda, qual caminho de investigação você tomaria para tentar entender a história desse conhecimento?

Nessa questão os alunos já entenderam como a jornalista iniciou a investigação e agora deve tomar sua primeira decisão, sobre a qual ele pode opinar. Aqui acontece também o primeiro contato com o conteúdo que será trabalhado ao longo do caso (radioatividade artificial) e os nomes dos cientistas sobre os quais a investigação se desdobrará (Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie). Não há nenhum aspecto específico de natureza da ciência a ser trabalhado, entretanto, o docente pode instigar reflexões acerca do fato de que é muito difícil estabelecer um início para algum conhecimento científico, já que a ciência não apresenta um desenvolvimento linear. Além disso, pode incitar discussões acerca da importância das premiações científicas, dos registros na ciência e a importância do acesso da população a esse tipo de informação.

Questão para pensar 3

Como seria estar no meio desse turbilhão de eventos, em 1935, em um mundo em transformação após a Primeira Guerra Mundial e à beira de outra grande guerra, com indústrias em ascensão, novas tecnologias surgindo e tensões geopolíticas aumentando? Como cientista vivendo no meio de tensões políticas e incertezas globais, você acha que se preocuparia com questões políticas e sociais?

Nessa questão o aluno já pôde entender o contexto acerca da descoberta dos cientistas Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie. O aspecto de natureza da ciência aqui explorado é o de **espectro de motivações do fazer científico**, uma vez que entendendo o contexto político da França em 1935 (ano da premiação do Nobel), entende-se minimamente porque era esse tipo de conhecimento que estava sendo premiado na época. Além disso, a questão da relação ciência e sociedade ainda pode ser fortemente destacada, explorando o fato de como uma influencia a outra, principalmente quando se trata de guerra, e no caso do século XX, foram três grandes guerras.

Questão para pensar 4

Pensando em organizar os conhecimentos até aqui levantados por Fernanda sobre o nêutron e o pósitron, organize o papel desempenhado por cada cientista que participou de alguma forma (o que cada um fez). Quais as diferentes interações entre seus trabalhos que podem ter contribuído para esses processos?

Nesse momento da narrativa iniciaram-se os conteúdos químicos sobre a radioatividade, especificamente sobre as partículas subatômicas que foram descobertas pouco antes ou até concomitantemente à radioatividade artificial, e que colaboraram para a produção desse conhecimento. Por isso, é possível trabalhar aqui tanto **espectro de motivações do fazer científico**, já que muitos cientistas desse período na França estavam trabalhando com átomo e seus fenômenos; quanto **colaborações ou competições entre cientistas: revisão por pares, erros e incertezas, explicações alternativas**, uma vez que os cientistas trabalham compartilhando resultados, mas apenas alguns serão reconhecidos por isso. Entretanto, se os alunos encontrarem dificuldades para sistematizar os conhecimentos e atribuí-los a determinados cientistas, o docente pode guiar a discussão a fim de fazê-los perceber como é difícil fazer e até mesmo entender a ciência, já que não seu desenvolvimento não é linear e as relações não são diretas entre produtor e produto.

Questão para pensar 5 e 6

No lugar da Fernanda, como você interpretaria o trabalho do casal utilizando a química: quais são as reações envolvidas no processo descrito no texto? Qual elemento foi artificialmente produzido por eles? E a fim de entender a especificidade desse conhecimento, quais as diferenças entre os três fenômenos já abordados até aqui e em qual momento do experimento cada um aparece: radioatividade natural, radioatividade induzida e radioatividade artificial?

Como Fernanda poderia entender quais as características particulares da radioatividade artificial que os fizeram ganhar o Nobel? O que fez dessa produção científica ser considerada suficiente para ser premiada?

Essa é a seção de maior importância para o conteúdo científico estudado, pois trata-se de como ele foi de fato produzido e recebido pela comunidade científica. Na questão 5 o docente pode orientar os alunos quanto à importância do uso da linguagem química, já que eles

precisarão escrever as reações nucleares do experimento e se atentar às conservações de massa e carga. Vale destacar também a importância da interpretação correta do experimento feito, já que a partir dele é possível notar os três diferentes tipos de radioatividade fazendo com que o aluno perceba como esse conhecimento se desdobrou de diferentes formas além do natural:

- radioatividade natural: fonte de polônio radioativo emitindo naturalmente partículas alfa;
- radioatividade induzida: alumínio bombardeado pelas partículas alfa emitidas pela fonte de polônio;
- radioatividade artificial: fósforo artificialmente radioativo como produto do bombardeamento do alumínio.

Assim, o docente pode destacar que a partir de um fenômeno inicialmente natural, os cientistas puderam produzir outros dois fenômenos diferentes e artificiais, ou seja, que não existiriam se não fosse a ciência. Portanto, trabalha-se aqui o aspecto essencial da química de **artificialização da natureza**. Além de possibilitar também mais discussões acerca das premiações e reconhecimento no meio científico, uma vez que a participação deles no congresso, que não foi como esperavam, rendeu a publicação do artigo e o prêmio, permitindo discussões acerca dos **meios de socialização do conhecimento científico**.

Questão para pensar 7

Quais conclusões Fernanda poderia tirar a respeito da ciência com os fatos dessa história? Quais informações podem ser obtidas a partir das fotos? Como podemos descrever as pessoas nelas? Nesse caso, a ciência e suas formas de premiações podem ser percebidas como um ambiente inclusivo para diferentes pessoas?

Essa questão tem como objetivo promover discussões acerca do meio científico e as características das pessoas que o compõem, já que nessa seção e ao longo das anteriores, o aluno teve contato com diferentes cientistas. Muitos pontos sobre isso podem aparecer, mas espera-se que o aluno aponte especialmente o **preconceito de gênero** que emerge da história, uma vez que acompanhando um casal (Frédéric e Irène), é possível notar diferenças nas trajetórias deles como homem e mulher. Inclusive, utilizando a Figura 4 é possível notar que a quantidade de homens no congresso é extremamente superior ao número de mulheres presentes e com o slide 26 pode-se destacar a diferença entre os cargos que ambos assumiram. Entretanto, se os alunos não notarem isso por conta própria, sugere-se que o docente incite tais discussões.

Material extra:

Para que o docente possa complementar as discussões que surgirem sobre a Figura 4, destaca-se o fato de que as três mulheres presentes na imagem são: Marie Curie, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner. Tais mulheres eram, respectivamente: viúva de Pierre Curie, esposa de Frédéric Joliot-Curie e a colega de Otto Hahn. Ou seja, todas têm alguma conexão com algum outro cientista homem, e nenhuma delas está lá apenas pelo seu trabalho na ciência.

Para avançar nas discussões, o docente pode também comentar ou acessar com os alunos os discursos das premiações do Nobel no site do prêmio, a fim de mostrar como são diferentemente armazenadas as falas dos homens e as das mulheres. Tal comentário pode ser feito da seguinte forma:

Os premiados do Nobel são convidados a dar uma palestra no dia da premiação a fim de explicar como alcançaram tais resultados, porém os convites para essa cerimônia são restritos. Então, para ter acesso às falas dos cientistas, devemos acessar o site oficial do prêmio e buscar por “lecture [nome do cientista]”. Ao fazer a busca no

site notamos que: o discurso de Irène está disponibilizado no próprio site ([Irène Joliot-Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centenary/irene-joliot-curie-lecture)), enquanto o de Frédéric está disponível em PDF ([Frédéric Joliot – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centenary/frédéric-joliot-curie-lecture)). Curiosamente para tentar entender o motivo disso, devemos acessar outros discursos e conferir também os armazenamentos; então veremos o de Marie, Pierre e Becquerel de 1903: o site diz que Marie não proferiu nenhuma palestra ([Marie Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centenary/marie-curie-lecture)), enquanto os discursos dos dois estão disponíveis também em PDF ([Pierre Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centenary/pierre-curie-lecture); [Henri Becquerel – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centenary/henri-becquerel-lecture)). Por fim, conferindo o de Marie Curie de 1906, prêmio que ela recebeu sozinha, o discurso está armazenado na página do site ([Marie Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centenary/marie-curie-lecture)), assim como o de Irène.

Assim, o docente pode demonstrar que os discursos de mulheres são registrados e disponibilizados como uma página normal da internet, enquanto o dos homens são armazenados em formato de documento (PDF).

Ainda no site do prêmio, estão disponibilizada as fotos oficiais da premiação (Figura 1):

Figura 1 - Fotografias de Frédéric Joliot-Curie e Irène Joliot-Curie para registro do Nobel.



Fonte: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/summary/>

Por isso, é possível ainda discutir as visíveis diferenças presentes nessas duas fotografias, já que Irène nem direciona o olhar para o fotógrafo, enquanto Frédéric o encara diretamente. Vale também ouvir a opinião dos alunos quanto a essas informações do site, principalmente tentando fazê-los refletir sobre os motivos e impactos dessas diferenças.

Questão para pensar 8

Compare as possíveis reações de fissão nuclear do U a fim de identificar o que há em comum entre elas (além dos mesmos reagentes) e apontar a especificidade desse tipo de reação. Depois, aponte se as reações que você escreveu na questão 5 podem ter as mesmas características, mesmo se tratando de elementos bombardeados e partículas diferentes.

Nessa questão os alunos podem desenvolver uma resposta importante para a narrativa, pois é a partir daqui que eles poderão notar a maior consequência do conhecimento produzido por Irène e Frédéric. Por isso, ela aborda exclusivamente o conteúdo químico de reações nucleares em cadeia, que é o fenômeno que vai direcionar o uso dessas reações posteriormente.

Além disso, ela está conectada com a questão 5, para que os alunos percebam que os Joliot-Curie, mesmo produzindo também uma reação nuclear artificializada, não poderiam tê-la usado para tais fins.

Questão para pensar 9 e 10

Com base no modelo que Fernanda elaborou, quais devem ser os três principais tipos de energia que ela pode afirmar que são produzidos por essa reação. Além disso, considerando que a reação ocorre milhares de vezes seguidas devido ao efeito em cadeia, a energia liberada será correspondente, ou seja, em grande quantidade. Você poderia propor ou imaginar alguns usos para essa fonte de energia?

Quais os principais impactos que o trabalho de Irène e Frédéric proporcionou para o mundo que estava em guerra? É possível dimensionar os impactos que um conhecimento produzido proporcionará? Ele pode ser guiado a fim de atingir apenas o objetivo inicial? Os cientistas que os produziram têm responsabilidades sobre o que a descoberta deles foi capaz de proporcionar para a ciência e para o mundo? Por quê?

Nessa última seção há a finalização tanto da história investigada, que termina com o entendimento sobre como a radioatividade proporcionou diferentes aplicações, quanto do conteúdo, que conectado com as aplicações, faz o aluno refletir sobre a energia produzida e quais suas possibilidades de uso. Desse modo, o aspecto de natureza da ciência aqui trabalhado é o de **responsabilidade social dos cientistas**, já que o aluno poderá finalmente vislumbrar a história completa e opinar se realmente há um “culpado” para os atuais impactos provocados pela radioatividade. O docente inclusive, pode colaborar com as reflexões dos alunos relembrando o fato de como as pesquisas científicas emergem das necessidades sociais, para que depois, volte para suprir então essas demandas. Assim, os cientistas podem ser apontados como mediadores desse processo de produção do conhecimento para a humanidade, mas não como culpados, pois os usos de suas descobertas extrapolam suas áreas de atuação e deixam de ser suas responsabilidades.