

A História e Filosofia da Ciência na Educação de Jovens e Adultos: uma experiência didática com o tema radioatividade e as contribuições de Marie Curie

Erick Rocaletti

Adriano Lopes Romero

Resumo

O presente trabalho avaliou a potencialidade de uma sequência didática sobre a história da radioatividade, focada em Marie Curie, para o ensino de História e Filosofia da Ciência (HFC) em uma turma de Educação de Jovens e Adultos (EJA). Os resultados indicam que a sequência foi eficaz em engajar os alunos, tornando o aprendizado de Ciências mais significativo ao conectá-lo às suas realidades e experiências. A abordagem histórico-filosófica estimulou discussões ricas sobre o papel do gênero na Ciência e na sociedade, promovendo o pensamento crítico e a cidadania. No entanto, a pesquisa revelou desafios na assimilação de conceitos mais abstratos da HFC, como a influência das concepções teóricas dos cientistas e a natureza coletiva do conhecimento, bem como em distinguir fenômenos científicos específicos, como fosforescência e radioatividade. A persistência de algumas concepções simplificadas, apesar dos debates em sala de aula, sugere que esses conceitos complexos podem necessitar de estratégias pedagógicas complementares. Conclui-se que a HFC é uma ferramenta valiosa e inclusiva para o ensino de Ciências na EJA, mas sua aplicação exige uma abordagem cuidadosa para consolidar os conhecimentos epistemológicos.

Palavras-chave: Ensino de Química. Sequência didática. Gênero e Ciência.

Abstract

The present study evaluated the potential of a didactic sequence on the history of radioactivity, focused on Marie Curie, for teaching History and Philosophy of Science (HPS) in a Youth and Adult Education (YAE) class. The results indicate that the sequence was effective in engaging students, making science learning more meaningful by connecting it to their realities and life experiences. The historical-philosophical approach stimulated rich discussions about the role of gender in science and society, promoting critical thinking and citizenship. However, the research revealed challenges in the assimilation of more abstract HPS concepts, such as the influence of scientists' theoretical conceptions and the collective nature of knowledge, as well as in distinguishing specific scientific phenomena, such as phosphorescence and radioactivity. The persistence of some simplified conceptions, despite in-class debates, suggests that these complex concepts may require complementary pedagogical strategies. It is concluded that HPS is a valuable and inclusive tool for science education in YAE, but its application requires a careful approach to consolidate epistemological knowledge.

Keywords: Chemistry teaching. Didactic sequence. Gender and Science.

INTRODUÇÃO

A História e Filosofia da Ciência (HFC) tem se consolidado como uma abordagem pedagógica eficaz para o ensino de Ciências^{1,2,3}. Ao promover a contextualização histórica, epistemológica e social dos conceitos científicos, a HFC favorece não apenas a compreensão mais profunda dos conteúdos, mas também o desenvolvimento de uma visão crítica sobre a natureza do conhecimento científico (entendido como um empreendimento humano, situado histórica e culturalmente). Essa perspectiva contribui para desnaturalizar a Ciência como conjunto de verdades absolutas, aproximando-a dos estudantes como processo dinâmico, construído por sujeitos em contextos específicos⁴. Ao trabalhar com HFC é possível¹:

[...] tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, desse modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (p. 165).

A incorporação de elementos da HFC na Educação Básica é amplamente reconhecida, na literatura acadêmica, como um componente essencial para a formação crítica dos estudantes, tornando-se um princípio orientador em diversos currículos de cursos de licenciatura⁵. Contudo, apesar desse consenso no campo da formação inicial de professores, observa-se, na prática pedagógica, uma frágil integração desses saberes. Essa lacuna contribui para a perpetuação de representações estereotipadas sobre cientistas e em visões distorcidas da natureza do trabalho científico, o que pode comprometer a formação crítica dos estudantes. Diante desse cenário, torna-se necessário fortalecer a abordagem da HFC durante

¹ M. R. Matthews, “História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação”, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 12, nº 3 (1995): 164-214.

² Maycon Raul Hidalgo, Álvaro Lorencini Junior, “Reflexões sobre a inserção da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências”, *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* 14 (2016): 19-38.

³ Marcos Antônio Barros, Sara Costa Mendonça, “Representações de professores formadores sobre os impactos da História e Filosofia da Ciência no ensino de Química”, *Revista Sustinere* 11, nº 1 (2023): 97-114.

⁴ Renato Medeiros Pinheiro, Leandro Londero, ““Marie Curie - a coragem do conhecimento”: uma possibilidade na discussão de aspectos da natureza da ciência”, *Revista Valore* 6 (2021): 1558-1569.

⁵ André Ferrer Pinto Martins, “História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 24, nº 1 (2007): 112-131.

a formação docente, a fim de instrumentalizar futuros professores para uma prática pedagógica reflexiva, historicamente situada e epistemologicamente fundamentada do conhecimento científico^{4,6,7}.

Essa visão simplificada e descontextualizada do processo de produção do conhecimento científico, comumente reproduzida em sala de aula por professores cuja formação em HFC é incipiente ou inexistente, é reforçada pelos livros didáticos, que tendem a apresentar a Ciência como um conjunto de verdades acabadas, desvinculadas de seus contextos históricos, sociais e filosóficos. Esses livros têm⁸:

[...] contribuído para que os alunos formem concepções errôneas sobre Ciência, o método científico e sobre a própria História da Química, resumindo determinados episódios da História da Química à história dos pioneiros ou do pai, por exemplo, Lavoisier, em diversos livros didáticos é apresentado como pai da Química; Newton pai da Física, além de enfatizarem apenas a descoberta, desconsiderando outros personagens que contribuíram para tal (p. 57).

É preciso esclarecer que o alinhamento dos livros didáticos a uma perspectiva que descontextualiza o conhecimento científico decorre, em grande medida, de estratégias de simplificação e didatização dos conteúdos, visando facilitar sua assimilação pelos estudantes⁹. Contudo, tal abordagem frequentemente reproduz uma concepção científica (erroneamente associada ao positivismo) que representa a Ciência como um empreendimento guiado exclusivamente pela racionalidade do pesquisador, baseado em um suposto método empírico-indutivista universal e isento de influências sociais, históricas ou culturais. Essa visão, por sua vez, tende a naturalizar a Ciência como um saber superior, objetivo e imutável, dissociado de seus contextos de produção^{10,11}.

Diante dessas limitações, torna-se fundamental, no âmbito da HFC, a adoção de referenciais teóricos que evidenciem o caráter histórico, social e dinâmico do conhecimento científico. Compreendê-lo

⁶ Midiã M. Monteiro, André Ferrer P. Martins, "História da ciência na sala de aula: uma sequência didática sobre o conceito de inércia", *Revista Brasileira de Ensino de Física* 37, nº 4 (2015): 1-9.

⁷ Gislayllson Dias dos Santos Souza, Boniek Venceslau da Cruz Silva, "Um estudo exploratório sobre a concepção do cientista e do seu local de trabalho por estudantes de Física", *Ciência em Tela* 9, nº 2 (2016): 1-11.

⁸ Ediana Barp, "Contribuições da história da ciência para o ensino da química: uma proposta para trabalhar o tópico radioatividade", *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* 8 (2013): 50-67.

⁹ Marinês Domingues Cordeiro, Luiz O. Q. Peduzzi, "Valores, métodos e evidências: objetividade e racionalidade na descoberta da fissão nuclear", *Revista em Ciência e Tecnologia* 9, nº 1 (2016): 235-262.

¹⁰ Alexandre Magno Dias Silvino, "Epistemologia positivista: qual a sua influência hoje?", *Psicologia: Ciência e Profissão* 27 (2007): 276-289.

¹¹ Sumbl Ahmad Khanda et al., "Understanding Positivism: A Qualitative Exploration of Its Principles and Relevance Today", *European Journal of Applied Sciences* 12, nº 6 (2024): 531-543.

como uma construção humana (mutável, negociada e influenciada por fatores extracientíficos) permite uma análise mais crítica e realista de seu funcionamento. Nesse sentido, as contribuições de filósofos da ciência como o polaco Ludwik Fleck¹² (1896-1961) e o estadunidense Larry Laudan¹³ (1941-2022) são muito relevantes, visto que ambos criaram teorias que contribuíram para a compreensão da dinâmica científica.

A história da Ciência é marcada por descobertas que reconfiguraram os paradigmas do conhecimento, dentre as quais se destaca a identificação dos elementos radioativos - processo profundamente associado ao trabalho de Marie Skłodowska-Curie (1867-1934), física e química de origem polonesa naturalizada francesa. Sua investigação não apenas conduziu à descoberta do polônio e do rádio, mas também estabeleceu as bases conceituais da radioatividade, desencadeando transformações radicais na Física e na Química do século XX¹⁴. Marie Curie consolidou-se como figura singular na história da Ciência: foi a primeira mulher a receber um Prêmio Nobel e a única pessoa laureada em duas áreas científicas distintas - Física (1903) e Química (1911). Contudo, sua trajetória foi atravessada por obstáculos estruturais, sobretudo relacionados ao seu gênero, numa época em que as instituições científicas eram dominadas por homens e as mulheres enfrentavam barreiras significativas ao reconhecimento intelectual. Longe de reduzir seu legado às adversidades enfrentadas, é preciso reconhecer que sua relevância como referência científica decorre, primordialmente, da solidez, inovação e impacto duradouro de suas contribuições epistemológicas e experimentais¹⁵.

Considerando a importância da abordagem de temas de História e Filosofia da Ciência no contexto da Educação Básica¹⁴, e seu potencial pedagógico no âmbito da Educação de Jovens e Adultos (EJA)¹⁶, este trabalho tem como objetivo analisar as potencialidades e limitações da sequência didática intitulada “Contribuições de Marie Curie para o desenvolvimento da radioatividade” para trabalhar História e Filosofia da Ciência, em especial conceitos advindos das teorias epistemológicas de Ludwik Fleck e Larry Laudan.

O referencial teórico do presente artigo está estruturado em três seções, as quais sustentam a análise da proposta pedagógica desenvolvida. A primeira trata do ensino de Ciências na Educação de Jovens e Adultos, com foco nas especificidades desse contexto educacional. A segunda aborda a dinâmica da Ciência à luz das perspectivas de Ludwik Fleck e Larry Laudan, oferecendo ferramentas conceituais para

¹² Ludwik Fleck, *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

¹³ Larry Laudan et al., “Mudança científica: modelos filosóficos e pesquisa histórica”, *Estudos Avançados* 7, nº 19 (1993): 7-90.

¹⁴ Beatriz Carvalho Almeida, Rosária Justi, “O caso histórico Marie Curie: investigando o potencial da história da ciência para favorecer reflexões de professores em formação sobre natureza da ciência”, *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* 12, nº 1 (2019): 351-373.

¹⁵ Karolaine Pacheco Ferreira, Cinthia Leticia de Carvalho Roversi Genovese, “Os desafios das mulheres na Ciência: Marie Curie como figura feminina no campo científico”, *Revista Educação, Ciência e Cultura* 27, nº 2 (2022): 1-16.

¹⁶ Joselia Cristina Siqueira da Silva, Dieison Prestes da Silveira, “Aspectos históricos e filosóficos da Ciência na formação de jovens e adultos: uma análise documental dos trabalhos desenvolvidos no Brasil”, *Revista Ilustração* 3, nº 2 (2022): 63-73.

problematizar a natureza do conhecimento científico. Por fim, a terceira seção analisa o fenômeno da radioatividade sob a ótica da História e Filosofia da Ciência, destacando seu potencial para promover uma compreensão crítica e contextualizada da Ciência no ambiente escolar.

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DE CIÊNCIAS NA EJA

A Educação de Jovens e Adultos constitui uma modalidade da Educação Básica voltada para jovens e adultos que não tiveram acesso ao ensino formal na idade apropriada ou não concluíram o Ensino Fundamental ou Médio. Seu papel transcende a mera alfabetização ou certificação escolar, pois busca atualizar os conhecimentos construídos ao longo da vida e promover uma compreensão crítica da realidade social na qual os educandos estão inseridos¹⁶. Nesse contexto, a incorporação de elementos da História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências pode desempenhar um papel fundamental na construção de uma educação científica significativa e inclusiva, especialmente para sujeitos historicamente marginalizados do sistema educacional.

Apesar de sua relevância social, a EJA tem ocupado um lugar secundário nas políticas educacionais, refletindo-se em precariedade de financiamento, formação docente inadequada e escassez de materiais didáticos específicos¹⁷. Essa condição marginal tende a ser reforçada por concepções restritivas sobre o fenômeno educativo, que desconsideram o potencial transformador da EJA como espaço de inovação teórica e prática¹⁸. Nesse cenário, o campo do Ensino de Ciências na EJA permanece subdesenvolvido, com um número reduzido de estudos dedicados aos anos finais do Ensino Fundamental e ao Ensino Médio, especialmente no que se refere a abordagens inovadoras e à análise do processo de ensino-aprendizagem nesse público^{19,20}.

Contudo, a formação cidadã e crítica, um dos objetivos centrais do ensino de Ciências, exige que a prática pedagógica considere as experiências de vida, os contextos sociais e as necessidades concretas dos estudantes. A maioria dos educandos da EJA provém de situações de vulnerabilidade social e traz consigo saberes construídos fora da escola, o que demanda uma abordagem curricular que valorize essas vivências. Nesse sentido, “o(a) professor(a) precisa discutir a ciência enquanto produção humana, cultural,

¹⁷ Gilvanice Barbosa da Silva Musial, Jurandir de Almeida Araújo, “Políticas públicas de/para a educação de jovens e adultos: Um balanço de artigos publicados no Portal de Periódicos CAPES”, *Educar em Revista*, 38 (2022): e82090.

¹⁸ Maria Clara Di Pierro, Orlando Joia, Vera Masagão Ribeiro, “Visões da educação de jovens e adultos no Brasil”, *Cadernos Cedes*, 21 (2001): 58-77.

¹⁹ Simone Paixão Araújo, Maria Helena da Silva Carneiro, “Educação de jovens e adultos no ensino médio, uma revisão bibliográfica sobre o ensino de Ciências”, *Ciências & Cognição* 19, nº 1 (2014): 96-104.

²⁰ Siriane da Costa Viana, France Fraiha Martins, Joyce Melo Mesquita, “Frestas em pesquisas sobre o Ensino de Ciências e a Educação de Jovens e Adultos: indicativos de um universo a explorar”, *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas* 18, nº 40 (2022): 105-122.

histórica, vinculada aos aspectos sociais, políticos e econômicos, sempre relativa e nunca absoluta”²¹ (p. 3). Essa perspectiva convida à superação de visões acríticas e descontextualizadas da Ciência, favorecendo uma compreensão mais reflexiva e engajada do conhecimento científico.

Assim, a integração da HFC no ensino de Ciências na EJA não se configura apenas como uma proposta metodológica, mas como uma exigência ética e epistemológica para uma educação científica verdadeiramente inclusiva e emancipatória.

A DINÂMICA DA CIÊNCIA NA PERSPECTIVA DE FLECK E LAUDAN

Ludwik Fleck criou teorias inovadoras sobre a relação das comunidades científica e não científica com a produção do conhecimento²². Através de seus conceitos de coletivo de pensamento e estilo de pensamento ele deixou explícito as determinações históricas e sociais das teorias que a Ciência produz²³. É importante apresentar a definição que o próprio autor dá para ambos os conceitos. O primeiro pode ser compreendido como:

[...] a comunidade das pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de pensamentos, temos, em cada uma dessas pessoas, um portador do desenvolvimento histórico de uma área de pensamento, de um determinado estado do saber e da cultura [...]¹² (p. 82).

E o segundo como “uma coerção definida de pensamento e mais: a totalidade das disposições mentais, a disposição para uma e não para outra maneira de pensar e agir”¹² (p. 110).

A partir dessas ideias, a Ciência pode ser vista em uma complexidade maior do que a expressa pela perspectiva positivista, pois suscitam que o conhecimento só faz sentido dentro de um coletivo. Por conseguinte, o que é simplesmente julgado como racional passa a ser entendido como um enquadramento a uma orientação dominante: as ideias e teorias dos cientistas precisam se ajustar ao estilo de pensamento vigente do coletivo. Ora, disso entende-se que os fatos científicos não são apenas “objetivos”, essa categoria perde o sentido e fica mais evidente quando se comprehende que cada pesquisador pertence a mais de um coletivo de pensamento, o que faz com que eles sigam as imposições de cada um deles - inclusive dos não científicos^{12,22,23}.

²¹ Mariana Nascimento Santos, Marcos Lopes de Souza, “O Ensino de Ciências em turmas de Educação de Jovens e Adultos”, In *Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011.

²² Letícia Barbosa, André Pereira Neto, “Ludwik Fleck (1896-1961) e a translação do conhecimento: considerações sobre a genealogia de um conceito”, *Saúde em Debate* 41 (2017): 317-329.

²³ Ilana Löwy, “Ludwik Fleck e a presente história das ciências”, *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* 1 (1994): 7-18.

Posto isto, é preciso mencionar que Fleck distingue dois tipos de relações que ocorrem na produção do conhecimento: uma é desenvolvida por meio da história e da cultura e a outra de maneira imediata, a que o cientista observa e descreve em seus experimentos. A primeira ele define como “acoplamento ativo” e a segunda como “acoplamento passivo”. São relações interdependentes¹².

A respeito do acoplamento ativo, Fleck destaca a influência do passado sobre o presente. Para ele não faz sentido uma teoria do conhecimento que não leve em conta a relação de dependência que a Ciência tem com a História. Isso não se reflete apenas na criação das teorias científicas, mas também nos métodos e nas técnicas que os cientistas utilizam, pois sem um desenvolvimento histórico esses não existiriam. Todos esses aspectos levantados da teoria de Fleck são cruciais para esclarecer como o conhecimento é produzido e desenvolvido. Daí vêm a importância de discussões sobre esses conceitos em sala de aula, pois eles vão na contra mão do senso-comum de muitos alunos, que acreditam que os cientistas trabalham sozinhos, que são gênios e descobrem as coisas de uma hora para a outra^{7,12,23}.

Para auxiliar o entendimento do papel da comunidade na produção do conhecimento é apropriado o uso também da filosofia de Larry Laudan. O enfoque de sua teoria não é exatamente igual a de Fleck, mas há paralelos entre o pensamento dos dois filósofos. Por exemplo: o que um define como “estilo de pensamento” o outro define como “tradição de pesquisa”. Assim, para facilitar o entendimento será adotado, quando existir semelhança entre os conceitos de ambos, terminologias presentes no dossiê¹³ escrito por Laudan e colaboradores em 1993. Ao invés de “estilo de pensamento” ou “tradição de pesquisa” será usado o termo “suposição diretiva”.

Uma tese central na epistemologia contemporânea - presente de modo explícito na obra de Laudan e, ainda que implicitamente, na de Fleck - é a da subdeterminação das teorias pelos dados empíricos. Segundo essa perspectiva, as teorias científicas não são determinadas univocamente pela evidência observacional; ao contrário, a interpretação dos dados é mediada por pressupostos teóricos, tradições de pesquisa e convicções prévias dos cientistas. Em termos epistemológicos, isso significa que pesquisadores distintos, ao confrontarem os mesmos dados empíricos, podem chegar a conclusões divergentes, uma vez que sua percepção e análise estão condicionadas por seus respectivos quadros conceituais - fenômeno conhecido como carregamento teórico da observação²⁴. Historicamente, tal dinâmica é recorrente: basta lembrar, por exemplo, como defensores de paradigmas distintos interpretaram de modos antagônicos as mesmas observações⁹.

Essa perspectiva epistemológica acarreta implicações significativas para a História e Filosofia da Ciência, especialmente no que tange à avaliação da adequação de teorias a contextos específicos de investigação. Diante disso, toda escolha teórica torna-se passível de questionamento. Contudo, tal

²⁴ Anjan Chakravartty, “Inferência metafísica e a experiência do observável”, *Principia: an International Journal of Epistemology* 21, nº 2 (2017): 189-207.

reconhecimento não implica relativismo epistemológico, uma vez que a aceitação de novas teorias envolve um processo de negociação intersubjetiva entre o cientista e sua comunidade de pares. Nesse processo, crenças, valores e normas compartilhados pela comunidade científica exercem papel central na validação e legitimação de novos saberes. Ademais, mesmo teorias refutadas empiricamente podem persistir - fenômeno particularmente evidente no caso das suposições diretivas, que orientam programas de pesquisa e mantêm sua influência intelectual por períodos mais longos que teorias isoladas^{25,13}.

À luz das contribuições de Fleck e Laudan, amplia-se o escopo das discussões acerca da natureza histórica e social do conhecimento científico. Reconhece-se, assim, que a validade e a verdade atribuídas a determinados enunciados científicos são contextualmente situadas: tanto a escolha teórica quanto a interpretação dos dados empíricos são mediadas pelos pressupostos epistemológicos e valores sociocognitivos que orientam tanto o pesquisador individual quanto a comunidade científica à qual ele pertence.

A RADIOATIVIDADE À LUZ DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

A história da descoberta da radioatividade pode trazer à tona questões importantes que Ludwick Fleck e Larry Laudan trabalharam em suas teorias do conhecimento. Existem diversos eventos que estão ligados à essa descoberta que revelam: os valores e crenças que estão presentes nas comunidades científicas, as questões extracientíficas que permeiam o trabalho dos pesquisadores e a tese da subdeterminação. Considerando a relevância de tais eventos para a História da Química, é necessário uma análise histórica mais precisa deles.

Dos raios-X à hiperfosforescência

A descoberta dos raios-X pelo físico alemão Wilhelm Roentgen (1845-1923) causou profundo impacto no meio científico, instigando inúmeros pesquisadores a investigar a natureza desse novo fenômeno. Dentre eles, destacou-se o físico francês Jules Henri Poincaré (1854-1912), que, na tentativa de explicar o fenômeno observado por Roentgen, buscou fundamentar suas análises em fenômenos já conhecidos - ainda que reconhecesse tratar-se de uma descoberta inédita. Nesse contexto, Poincaré publicou um trabalho no qual conjecturou que todos os corpos fluorescentes seriam também emissores de raios-X. Tal hipótese baseava-se, em parte, na observação - já sugerida por Roentgen - de que os raios-X

²⁵ Marinês Domingues Cordeiro, "Ciência e valores: uma leitura epistemologicamente guiada de fontes primárias", *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática* 4, (2021): 1130-1154.

pareciam ser emitidos pela parede de vidro do tubo de raios catódicos, a qual se tornava fluorescente durante o processo de emissão²⁶.

Charles Henry (1859-1926) e o médico e pesquisador francês Gaston-Henri Niewenglowski (1871-1953) publicaram, independentemente, trabalhos que supostamente corroboravam a conjectura de Poincaré, embora tenham utilizado, em seus experimentos, substâncias fosforescentes. Henry utilizou sulfeto de zinco enquanto Niewenglowski empregou sulfeto de cálcio nos experimentos. Ambos relataram que essas substâncias, após à exposição a luz solar, emitiam raios-X. Esses resultados chamaram a atenção do físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908), que possuía um histórico de pesquisas sobre fenômenos de fosforescência - incluindo formas não visíveis a olho nu²⁶.

Diante dos resultados obtidos por Niewenglowski, Becquerel decidiu replicar seus experimentos, introduzindo modificações significativas: substituiu os sais de cálcio por sais de urânio, especificamente o sulfato duplo de potássio e urânio. Ao expor o composto à luz solar, constatou a emissão de radiação invisível, capaz de impressionar um papel fotográfico posicionado sob duas camadas de papel espesso e opaco - evidência de seu poder de penetração. Em repetições do experimento, observou que tal radiação era emitida mesmo na ausência de luz, indicando não depender da excitação luminosa prévia, e que sua capacidade de penetração era inferior à dos raios-X. Becquerel interpretou inicialmente esses fenômenos à luz de seus estudos anteriores sobre fosforescência, supondo tratar-se de radiação semelhante à emitida por outros compostos fosforescentes - embora, posteriormente, tais conclusões tenham sido revistas pela comunidade científica, uma vez que a radiação dos sais de urânio revelou propriedades distintas das radiações eletromagnéticas conhecidas à época, como o infravermelho²⁶.

Em experimentos subsequentes, Becquerel observou que a emissão de radiação pelos sais de urânio mantinha-se por períodos prolongados e intensificava-se quando os compostos eram novamente expostos à luz solar. Com base nesses comportamentos - particularmente a recuperação da intensidade após reexposição à luz - , interpretou o fenômeno como uma forma extrema de fosforescência, à qual atribuiu a denominação de “hiperfosforescência”. Contudo, mesmo após constatar que o urânio em estado metálico também emitia radiação - fato que, em princípio, desafiava a hipótese de fosforescência, visto que metais puros não exibem tal propriedade luminescente - , Becquerel manteve sua interpretação original. Não realizou, ademais, investigações sistemáticas para verificar se outros metais apresentavam comportamento semelhante, limitando assim o escopo de sua análise²⁶.

Os experimentos conduzidos por Henry, Niewenglowski e Becquerel (todos influenciados pela conjectura de Poincaré de que materiais luminescentes emitiriam raios-X) revelam-se particularmente significativos do ponto de vista epistemológico. Tratam-se de tentativas evidentes de enquadrar fenômenos

²⁶ Roberto Vieira Martins, “Como Becquerel não descobriu a radioatividade”, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 7, (1990): 27-45.

até então desconhecidos (como a emissão espontânea de radiação por compostos de urânio) dentro das suposições diretivas dominantes na comunidade científica da época, notadamente as que associavam emissão de radiação à fosforescência induzida por luz. Contudo, tais interpretações mostraram-se insustentáveis à luz do conhecimento posterior: as observações de Henry foram refutadas pelo próprio Becquerel; os resultados obtidos por Niewenglowski não encontram respaldo nas propriedades físicas dos materiais por ele utilizados; e as características atribuídas por Becquerel à radiação dos sais de urânio (como refração pelo vidro, reflexão por metais, menor poder de penetração em relação aos raios-X e intensificação após exposição solar) não se coadunam com as propriedades hoje conhecidas da radioatividade²⁶.

Essa análise confirma que as evidências empíricas disponíveis na época foram subdeterminadas por pressupostos teóricos fortemente arraigados, o que levou os pesquisadores a interpretar dados novos por meio de categorias conceituais pré-existentes. No caso de Becquerel, sua contribuição, embora fundamental para a identificação do fenômeno, foi limitada pela manutenção de um quadro interpretativo inadequado (como demonstra a criação do conceito de “hiperfosforescência”), que visava apenas distinguir formas visíveis (menos duradoura) e invisíveis de fosforescência (mais duradoura)²⁷. Assim, sua inovação reside mais na observação sistemática do fenômeno do que na elaboração de uma nova teoria para explicá-lo.

Marie Curie e a radioatividade

À primeira vista, pode parecer contraditório sustentar - como propôs Martins em 1990 - que Becquerel não descobriu a radioatividade, especialmente considerando que recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1903, ao lado do casal Marie e Pierre Curie (físico francês que viveu no período de 1859-1906), justamente por investigações relacionadas a esse fenômeno. Contudo, uma análise histórica e conceitual mais rigorosa revela que, embora Becquerel tenha sido o primeiro a observar e registrar sistematicamente a emissão espontânea de radiação por compostos de urânio, não foi ele quem formulou o conceito de radioatividade. Sua interpretação do fenômeno permaneceu ancorada na ideia de “hiperfosforescência” - uma hipótese que buscava enquadrar as emissões observadas dentro do paradigma da luminescência, sem romper com as suposições teóricas dominantes à época.

Foi Marie Curie quem, a partir de 1898, desenvolveu o conceito de radioatividade como propriedade intrínseca de certos elementos químicos, cunhando o termo e demonstrando, em conjunto com Pierre Curie, a existência de novos elementos radioativos, como o polônio e o rádio. Contudo, sua trajetória foi marcada por significativas barreiras institucionais e epistemológicas. Enquanto mulher inserida em um

²⁷ Gabriel Pugliese, “Um sobrevôo no “Caso Marie Curie”: um experimento de antropologia, gênero e ciência”, *Revista de Antropologia* 50, nº 1 (2007): 347-385.

campo científico profundamente masculino, Marie Curie enfrentou resistência não apenas por desafiar as normas de gênero da sociedade francesa do final do século XIX, mas também, e sobretudo, por propor uma teoria revolucionária que subvertia as suposições diretivas então vigentes sobre a natureza da matéria e da radiação. Sua autonomia intelectual foi frequentemente questionada, e suas contribuições, inicialmente atribuídas a seu marido ou minimizadas - o que revela como fatores socioculturais e epistemológicos se entrelaçaram para dificultar o reconhecimento de suas contribuições científicas.

Desde o início de sua jornada científica, Marie Curie enfrentou obstáculos estruturais relacionados ao seu gênero. Na Polônia, seu país de origem, foi impedida de ingressar em cursos universitários, uma vez que, à época, as instituições de ensino superior eram vedadas às mulheres. Diante dessa restrição, decidiu emigrar para a França, onde, após intenso esforço pessoal e dedicação acadêmica, graduou-se em Física e Matemática¹⁵.

Após concluir sua graduação, Marie iniciou seu doutorado em Física e definiu sua área de pesquisa ao tomar conhecimento das investigações de Becquerel sobre hiperfosforescência. Contrariando a interpretação de Becquerel ao fenômeno, Marie Curie formulou a hipótese de que outros elementos químicos, além do urânio, poderiam emitir radiação semelhante. Para isso, Marie utilizou uma câmara de ionização para detecção da radiação invisível, que foi criada por Pierre (que já era seu marido na época), e seu cunhado, o físico francês Paul-Jacques Curie (1855-1941). Ao analisar diversos minérios, ela observou que a pechblenda e a calcolita, ambos contendo urânio em sua composição, eram mais ativos que o urânio puro, sugerindo a presença de elementos ainda desconhecidos.

Ao tentar publicar suas primeiras observações, Marie enfrentou resistência institucional: a Academia de Ciências não publicava trabalhos de mulheres cientistas. Sobre esse episódio é possível afirmar que²⁷:

O gênero aparecia desde esse momento como um obstáculo suplementar no que toca a prática científica, pois as relações de poder que atravessam os laboratórios estigmatizavam mulheres, excluindo-as, o que dificultava a circulação de suas pesquisas (p. 357).

É evidente que os valores presentes na sociedade francesa da época afetaram as pesquisas de Marie e qualquer tentativa de separação entre as pesquisas dela do contexto que estavam inseridas, é uma simplificação de sua história. Posto isto²⁷:

Não é difícil perceber que ainda há muita resistência, mesmo que velada e disfarçada, aos saberes e à presença da mulher sábia, cientista, curiosa e audaciosa. Em uma sociedade marcada pela estrutural desigualdade de gênero, quando uma mulher decide

e dedica-se a um papel que outrora foi domínio masculino, isso incomoda e aborrece aqueles sujeitos que estão confortáveis em seguir a tradicional cultura do sexismo. Essas mulheres ousadas, que antes eram chamadas de bruxas e jogadas vivas na fogueira, ainda hoje são rotuladas de petulantes e inapropriadas, tudo pelo simples fato de não aceitarem mais que outros ditem até onde devem ir (p. 7).

Compreender as determinações históricas e sociais que atravessaram a trajetória de Marie Curie é fundamental para analisar as escolhas epistemológicas por ela empreendidas. Tal relação torna-se evidente, por exemplo, quando ela rejeita a interpretação proposta por Becquerel, que atribuía a emissão de radiação pelos sais de urânio a um fenômeno de “hiperfosforescência”. Para Marie Curie, a radiação observada não resultava de excitação luminosa prévia, mas era emitida espontaneamente - característica que a levou a propor um novo conceito: o de radioatividade. Essa hipótese foi ainda reforçada por suas observações experimentais: ao constatar que a pechblenda apresentava atividade radiativa superior à do urânio puro, inferiu a existência de um ou mais elementos químicos ainda desconhecidos, dotados de propriedades radioativas (posteriormente identificados como polônio e rádio)²⁷.

Sua proposição, no entanto, foi recebida com ceticismo e até escárnio por parte da comunidade científica da época. O próprio Becquerel manifestou-se contrário à ideia, assim como outros pesquisadores, que insistiam em explicar os fenômenos observados como decorrentes de impurezas ou combinações de elementos já conhecidos - recusando-se, assim, a admitir a existência de novas substâncias ou de um novo tipo de fenômeno físico-químico²⁷.

Dante das objeções iniciais à sua hipótese, Marie Curie intensificou suas investigações experimentais, buscando consolidar empiricamente a existência de elementos químicos até então desconhecidos. Seus esforços resultaram na obtenção de dados robustos que contradiziam as explicações vigentes baseadas em impurezas ou elementos já catalogados. Reconhecendo o potencial transformador daquelas descobertas, Pierre Curie decidiu integrar-se formalmente à pesquisa, passando de colaborador ocasional a co-investigador. Em conjunto, publicaram, em 1898, uma comunicação científica na qual anunciam a provável existência de um novo elemento, batizado por Marie em homenagem à sua terra natal: o polônio²⁸.

Prosseguindo as análises, agora com a colaboração do químico francês Gustave Bémont (1857-1932), o grupo observou que as amostras inicialmente atribuídas ao polônio continham um segundo elemento, cuja atividade radiativa era significativamente superior. Esse achado culminou, ainda em 1898,

²⁸Pierre Curie, Marie Skłodowska-Curie, "Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 127, (1898): 175-178.

em nova publicação²⁹, na qual anunciaram a descoberta do rádio. Embora o trabalho colaborativo tenha sido decisivo para a aceleração das análises químicas e para a legitimação institucional dos resultados (especialmente num contexto em que a autoridade científica feminina era sistematicamente questionada), é fundamental ressaltar que a concepção, a direção metodológica e a persistência experimental do projeto foram conduzidas por Marie Curie. Sua autoria intelectual não foi condicionada pela colaboração, mas potencializada por ela, numa demonstração de que o reconhecimento científico, embora mediado por relações de gênero e institucionais, pode ser conquistado mediante rigor, inovação e tenacidade epistemológica.

Após a publicação dos trabalhos que anunciam a descoberta do polônio e do rádio, Marie e Pierre Curie empreenderam esforços sistemáticos para consolidar empiricamente a hipótese de que a radioatividade constituía um fenômeno de natureza atômica (intrínseco a certos elementos químicos) e não um efeito secundário de processos luminescentes, como sugerira inicialmente Becquerel ao propor o termo “hiperfosforescência”. Para isolar quantidades significativas dos novos elementos e caracterizá-los quimicamente, era necessário processar grandes volumes de minério. Nesse contexto, Pierre Curie articulou contatos com autoridades austríacas, resultando na doação de uma tonelada de rejeitos de pechblenda provenientes de minas da Boêmia, material essencial para a continuidade das investigações²⁷.

Nos anos subsequentes, Marie e Pierre trabalharam intensamente para o refinamento e purificação das substâncias radioativas, atividades que demandaram não apenas rigor experimental, mas também recursos materiais e institucionais. Com o apoio financeiro de industriais interessados nas potencialidades da nova radiação, e mediante a publicação contínua de comunicações científicas que detalhavam suas descobertas, os Curie conquistaram crescente legitimidade no meio acadêmico. Progressivamente, a ideia de que a radioatividade representava uma propriedade física fundamental (e não um artefato experimental ou uma variação da fosforescência) tornou-se hegemônica na comunidade científica. Embora Marie Curie tenha sido, posteriormente, associada publicamente ao uso terapêutico da radiação (conhecido à época como “curioterapia”), seu reconhecimento no âmbito acadêmico derivou, primordialmente, da solidez e originalidade de suas contribuições conceituais e metodológicas²⁷.

Diante do impacto de suas pesquisas, a Academia Real Sueca de Ciências decidiu conceder o Prêmio Nobel de Física de 1903 a Antoine Henri Becquerel, Pierre Curie e Marie Curie. Contudo, o nome de Marie só foi incluído após insistência de Pierre, que recusou-se a aceitar a honraria caso sua esposa (autora intelectual central da pesquisa) fosse excluída. Mesmo assim, durante a cerimônia de premiação, Marie foi marginalizada discursivamente: seus feitos foram minimizados, e sua figura foi apresentada não

²⁹ P. Curie, M. Curie, G. Bémont, “Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende”, *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences* 127, (1898): 1215-1217.

como coautora das descobertas, mas como auxiliar de seu marido - evidência eloquente das estruturas patriarcais que ainda regiam as instituições científicas da época²⁷:

Todos sabiam que as pesquisas eram originalmente de Marie Curie, Pierre foi quem passou a auxiliá-la, mas ela, mesmo assim, era vista como uma “auxiliadora” de seu marido na produção científica. O poder que o gênero conferia à organização das relações era substancial, e não é à toa a invisibilidade das mulheres na história da ciência. Tal invisibilidade de que Marie foi uma das primeiras a se esquivar por ter tido a possibilidade de ser tratada como uma exceção, como uma mulher excepcional. Afinal de contas, ela recebeu o Nobel (que, diga-se de passagem, não tinha a mesma relevância que tem hoje, por ser um prêmio de três anos de existência), um grande feito diante das obliterações exercidas pelo poder naquele contexto (p. 369).

Pierre Curie faleceu em 1906, vítima de um acidente nas ruas de Paris. Apesar do luto e das dificuldades pessoais, Marie Curie prosseguiu suas investigações científicas com vigor, consolidando-se como uma das principais referências mundiais no estudo da radioatividade. Em 1911, foi laureada com o Prêmio Nobel de Química, tornando-se a primeira pessoa da história a receber dois prêmios Nobel em áreas científicas distintas. Contudo, sua nomeação foi envolta em controvérsias de natureza moral e misógina: à época, Marie mantinha uma ligação afetiva com o físico francês Paul Langevin (1872-1946), então em processo de separação conjugal. A imprensa francesa, mobilizando discursos conservadores e xenófobos, empreendeu uma campanha de difamação contra a cientista. “Marie Curie recebeu as mais variadas ofensas neste momento. A mesma França, que outrora havia lhe acolhido como uma autêntica cidadã francesa ao ganhar o primeiro Nobel, agora acusava-a de ser uma judia estrangeira destruidora de lares”²⁷ (p. 13), embora Marie não fosse judia, mas católica de origem polonesa, evidenciando o caráter difamatório e ideológico das acusações.

A trajetória de Marie Curie revela, de forma contundente, os mecanismos de exclusão de gênero operantes nas instituições científicas da França no início do século XX (dominadas, de fato, por homens, ainda que não de forma absoluta). Essas barreiras não se limitavam ao plano institucional, mas estavam arraigadas em um estilo de pensamento¹² que naturalizava a Ciência como esfera exclusivamente masculina, incompatível com a presença feminina em posição de autoridade intelectual. Nesse contexto, cada avanço científico obtido por Marie (cada publicação, cada descoberta, cada prêmio) não apenas ampliava as fronteiras do conhecimento, mas também subvertia as estruturas simbólicas que negavam às mulheres o direito à produção científica autônoma. Seu legado, portanto, transcende o campo da Física e da Química: constitui-se como um marco histórico na luta pela equidade de gênero na Ciência.

MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração da sequência didática intitulada "Contribuições de Marie Curie para o desenvolvimento da radioatividade" (Apêndice) pautou-se nos referenciais curriculares vigentes – especificamente, nas competências e habilidades definidas pela Base Nacional Comum Curricular³⁰ e pelo Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná³¹ –, com foco no conteúdo de radioatividade e seu potencial para integrar as dimensões científicas, históricas e filosóficas.

A estruturação das atividades levou em consideração que as sequências didáticas³² “são uma maneira de encadear e articular as diferentes atividades ao longo de uma unidade didática [...]”, assim como “[...] podem indicar a função que tem cada uma das atividades na construção do conhecimento ou da aprendizagem de diferentes conteúdos [...]” (p. 17).

Quanto à seleção dos aspectos históricos e filosóficos incorporados à sequência didática, foram utilizadas “fontes secundárias (estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos autores investigados)”³³ (p. 310), opção que se justifica pela necessidade de oferecer aos estudantes uma narrativa didaticamente organizada, contextualizada e acessível, capaz de favorecer a compreensão crítica sem exigir, em nível médio, o manuseio direto de fontes primárias de complexidade muitas vezes incompatível com o estágio de formação dos alunos.

A sequência didática foi implementada em uma turma composta por sete estudantes da Educação de Jovens e Adultos (EJA) do Centro Estadual de Educação Básica de Jovens e Adultos (CEEBJA) de um município do interior do Paraná, durante um período de três dias. Com o intuito de avaliar o impacto da intervenção pedagógica, foram utilizados três instrumentos de coleta de dados.

Questionário Inicial: Aplicado no início da sequência didática, com o objetivo de sondar as concepções iniciais dos estudantes acerca da produção e disseminação do conhecimento científico, bem como suas percepções sobre a relação entre Ciência e gênero. O instrumento, estruturado em escala Likert (1932) de cinco níveis, está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Questionário aplicado no início da sequência didática

Avalie as afirmações a), b), c) e d) e indique sua opinião selecionando uma das opções abaixo:

³⁰ Brasil, “Base Nacional Comum Curricular – BNCC”, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 12 dez. 2024.

³¹ Paraná, Secretaria da Educação, “Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná”, 2021. Disponível em: https://www.educacao.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2021-08/referencial_curricular_novoem_11082021.pdf. Acesso em: 11 dez. 2024.

³² Antoni Zabala, “A prática educativa”, Porto Alegre: Penso, 1998.

³³ Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, “História da ciência: objetos, métodos e problemas”, Ciência & Educação 11, nº 2 (2005): 305-317.

<input checked="" type="checkbox"/> Discordo totalmente (DT) <input checked="" type="checkbox"/> Discordo (D) <input checked="" type="checkbox"/> Não tenho opinião/Indiferente (I) <input checked="" type="checkbox"/> Concordo (C) <input checked="" type="checkbox"/> Concordo totalmente (CT)
a) Para aprender Ciência não é necessário estudar o desenvolvimento dos conceitos e teorias desenvolvidas, apenas um resumo dos conceitos e teorias mais recentes é suficiente. DT () D () I () C () CT ()
b) As grandes contribuições científicas são feitas por gênios, na maioria das vezes por homens que realizam pesquisas sozinhos em grandes laboratórios. DT () D () I () C () CT ()
c) Homens e mulheres possuem a mesma capacidade para aprender Ciências e seguir uma carreira científica. DT () D () I () C () CT ()
d) Na comunidade científica não há discriminação de gêneros, tanto homens quanto mulheres tem as mesmas chances de desenvolver uma carreira científica. DT () D () I () C () CT ()

Fonte: Autoria própria (2025).

Questionário Final: Aplicado ao término da sequência didática, combinou questões abertas e fechadas, com o intuito de avaliar a compreensão dos estudantes sobre os conceitos de HFC e os conhecimentos científicos relacionados à radioatividade, além de verificar possíveis mudanças em suas concepções sobre a natureza da Ciência e as questões de gênero na área (Quadro 2).

Quadro 2: Questionário aplicado no final da sequência didática

1. Como as questões de gênero estão presentes na Ciência?
2. Qual foi o impacto que as questões de gênero causaram na carreira de Marie Curie?
3. Por que é importante considerar a perspectiva de gênero na Ciência? Assinale apenas uma alternativa: a) Para promover a diversidade b) Para entender melhor como a natureza funciona c) Para garantir a igualdade de oportunidades d) Para desenvolver tecnologias inovadoras
4. Qual foi o papel de Marie Curie na descoberta da radioatividade?
5. Marque com V (verdadeiro) ou F (falso) as seguintes afirmações: () A radioatividade é um tipo de radiação () A radioatividade é a emissão de radiação

() Toda radiação é maléfica para os seres vivos
() O urânio, o polônio e o rádio são os únicos elementos radioativos que existem
() Todos os compostos fosforescentes emitem radioatividade
() Marie Curie fez suas pesquisas totalmente sozinha no laboratório
() As pesquisas de Becquerel com os sais de urânio não tiveram importância para a Ciência
() As concepções teóricas dos cientistas não influenciam suas pesquisas
6. O quanto importante para você foi estudar sobre a história da radioatividade?

Fonte: Autoria própria (2025).

Diário de bordo e gravações de áudio: Com o consentimento da professora regente e dos alunos, foram realizadas gravações de áudio das aulas, cujas transcrições parciais (especialmente de interações significativas) foram incorporadas no diário de bordo do pesquisador (primeiro autor). Esse instrumento serviu como um recurso adicional para registrar com maior fidelidade as falas, os debates e a dinâmica das interações em sala de aula. O diário de bordo incluiu anotações detalhadas sobre o engajamento e a participação dos alunos, as discussões, as perguntas levantadas pelos estudantes e as adaptações pedagógicas realizadas. Trechos de falas e interações significativas dos alunos, transcritos a partir dos áudios, foram incorporados ao diário para capturar a essência do processo de ensino-aprendizagem.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A elaboração da sequência didática partiu da premissa de que, abordar a Ciência como produção humana, cultural, histórica, vinculada aos aspectos sociais, políticos e econômicos, e sempre relativa e nunca absoluta, é crucial para contexto educacional, em especial para o público da EJA²¹. Isso se deve ao fato de que os estudantes dessa modalidade chegam à sala de aula com uma vasta bagagem de conhecimentos formais e informais, e com experiências de vida diversas, muitas vezes marcadas por vulnerabilidade social³⁴. Abordagens como esta sobre Marie Curie possibilitam que os alunos façam reflexões a respeito de como o conhecimento científico é criado e desenvolvido, atrelando-o à sua realidade e aos desafios do cotidiano. Além disso, promovem uma visão mais humanizada dos cientistas, combatendo concepções distorcidas sobre o trabalho científico e contribuindo para sua formação cidadã^{4,34}.

Inicialmente, apresenta-se uma breve descrição de cada encontro, com base nos registros do diário de bordo, evidenciando as interações, mediações pedagógicas, emergências conceituais e tensões discursivas observadas.

³⁴ Ednaldo Carlos de Souza, "A importância do ensino de Ciências na Educação de Jovens e Adultos", *Revista Educação Pública* 21, nº 38 (2021).

O primeiro encontro teve como objetivos principais: (i) aplicar o questionário diagnóstico sobre concepções de Ciência e gênero; (ii) introduzir conceitos físicos fundamentais (ondas eletromagnéticas, luminescência) e; (iii) estabelecer conexões com o cotidiano dos estudantes. A aplicação do questionário revelou certo receio por parte de um aluno em expressar opiniões sinceras, temendo ser julgado ou interpretado como praticante de *bullying*, o que evidencia a sensibilidade do tema gênero e a necessidade de um ambiente seguro para discussões críticas. O professor, ao ser questionado sobre sua geração, respondeu com neutralidade, reforçando o caráter reflexivo da atividade.

Na mediação dos conceitos científicos, optou-se por recursos visuais dinâmicos (*gifs* e animações) para facilitar a compreensão de fenômenos abstratos, como ondas eletromagnéticas (estratégia que se mostrou eficaz, conforme observado pelo engajamento dos estudantes). A conexão com o cotidiano, especialmente sobre os efeitos das ondas provenientes de aparelhos celulares na saúde, gerou questionamentos espontâneos, oportunizando uma discussão crítica sobre mitos científicos e a importância da evidência empírica. A intervenção docente, nesse momento, demonstrou sensibilidade epistemológica, ao desnaturalizar supostas “verdades” e promover o pensamento científico.

O segundo encontro centrou-se na contextualização histórica da descoberta dos raios-X por Wilhelm Roentgen, com ênfase na natureza social e institucional da Ciência. A partir da pergunta “Vocês sabem o que é um artigo científico?”, emergiu uma concepção inicial reducionista (“passar os resultados para o papel”), que foi problematizada mediante analogias com revistas de moda e, posteriormente, contrastada com as normas acadêmicas e a necessidade de replicabilidade experimental.

A discussão sobre publicação científica evoluiu naturalmente para reflexões sobre credibilidade, autoria e ética (catalisadas por uma provocação dos estudantes sobre a publicação em redes sociais). A analogia com o plágio e a necessidade de registro formal permitiu que os alunos compreendessem, de forma contextualizada, a função das revistas científicas como instituições de validação do conhecimento.

A análise da fotografia da mão de Bertha Roentgen não apenas ilustrou o impacto cultural da descoberta, mas também serviu como gancho para discussões sobre radiação, proteção e riscos à saúde (temas que despertaram forte interesse e relatos pessoais dos estudantes). A mediação docente, ao vincular dose, frequência de exposição e proteção ocupacional, demonstrou cuidado em equilibrar rigor científico e acessibilidade, evitando alarmismos e promovendo a compreensão contextualizada dos riscos.

A observação dos alunos sobre os metais na imagem de raio-X permitiu uma explanação sobre densidade, blindagem e propriedades dos materiais (momento em que a interdisciplinaridade entre Física, Química e Biologia se fez presente de forma orgânica).

O terceiro encontro foi dedicado à introdução de categorias epistemológicas fundamentais, ainda que sem o uso dos termos técnicos, por meio de analogias e narrativas históricas acessíveis. O experimento com luz negra e água tônica (bebida contendo quinino) serviu como ponte entre o fenômeno da fluorescência

e a hipótese de Poincaré, criando um contexto empírico para problematizar a relação entre observação e interpretação.

A introdução do conceito de estilo de pensamento foi realizada por meio da análise da passagem bíblica de Josué 10:13, que descreve o “Sol parando no céu”. A discussão sobre o geocentrismo e a resistência da Igreja às observações de Galileu permitiu que os estudantes compreendessem como crenças culturais e institucionais influenciam a interpretação de evidências, ilustrando, assim, a tese da subdeterminação das teorias pelas evidências.

A narrativa histórica prosseguiu com os experimentos de Henry, Niewenglowski e Becquerel, destacando como a hipótese de Poincaré orientou suas interpretações (mesmo diante de dados que, retrospectivamente, eram insuficientes ou equivocados). A ênfase no erro como componente produtivo do processo científico foi bem recebida pelos estudantes, que associaram a investigação científica à curiosidade e ao aprendizado contínuo.

A discussão sobre a figura do “gênio solitário”, instigada pela menção a Einstein, permitiu desconstruir mitos sobre a Ciência, vinculando o desenvolvimento intelectual às condições sociais e econômicas. O relato de uma aluna sobre a falta de oportunidades educacionais gerou uma reflexão coletiva sobre trajetórias escolares e desigualdades estruturais (momento em que a professora regente interveio com uma pergunta-chave sobre igualdade de gênero, preparando o terreno para o encontro seguinte).

O quarto e último encontro teve como eixo central a análise das barreiras de gênero enfrentadas por Marie Curie, articuladas às experiências vividas pelos próprios estudantes. A narrativa biográfica foi utilizada não como mera sucessão de fatos, mas como dispositivo crítico para problematizar as estruturas de exclusão presentes na Ciência e na sociedade contemporânea.

A menção ao direito de voto das mulheres serviu como ponto de partida para uma discussão profunda sobre as raízes históricas do machismo. Os estudantes, de forma autônoma, associaram o preconceito científico contra Marie Curie a formas contemporâneas de discriminação (como o estereótipo da mulher ao volante ou a culpabilização coletiva das mulheres por erros individuais). A intervenção docente, ao sistematizar essa lógica assimétrica de julgamento, ampliou o debate para o campo da epistemologia do gênero.

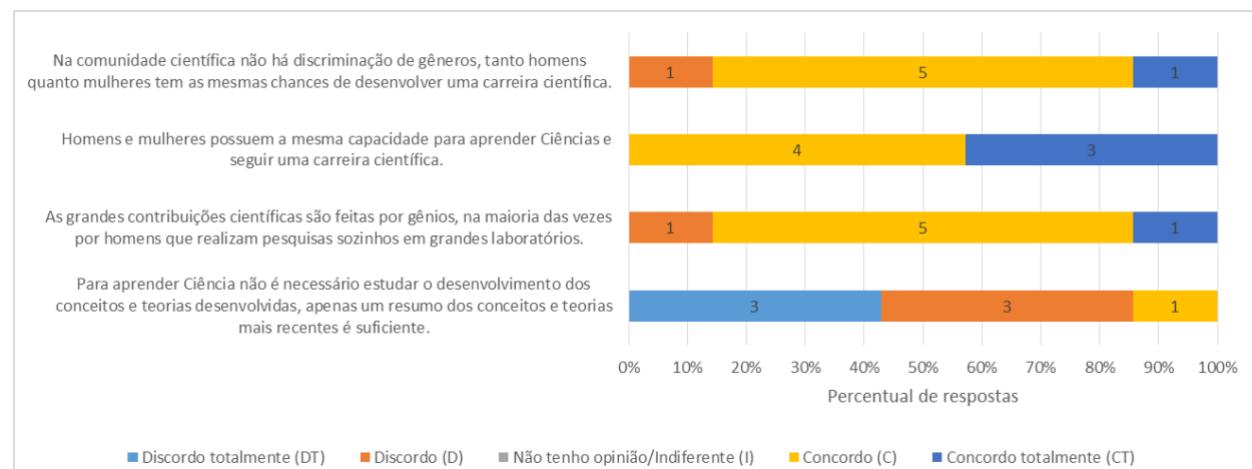
Relatos pessoais das alunas (sobre desigualdade salarial, dupla jornada e divisão de tarefas domésticas) evidenciaram a potência da sala de aula como espaço de produção de conhecimento situado. Ao validar essas experiências e vinculá-las às estruturas de poder que atravessam a Ciência, objetivou-se contribuir para uma aprendizagem significativa e politicamente engajada.

A sequência encerrou-se com uma reflexão coletiva sobre as origens sociais do machismo, com os estudantes apontando a socialização familiar e as divisões de gênero no trabalho como fatores estruturantes, demonstrando a apropriação crítica dos conteúdos trabalhados.

Percepções iniciais dos alunos sobre Ciência

O Questionário 1, aplicado no início da sequência didática, buscou sondar as concepções iniciais dos estudantes (Figura 1).

Figura 1: Perfil de respostas dos estudantes às afirmativas presentes no questionário 1



Fonte: Autoria própria (2025).

Observou-se que a maioria dos alunos (6 de 7) discordou da afirmação de que não é necessário estudar o desenvolvimento dos conceitos científicos. Isso indica uma abertura para a abordagem histórico-filosófica em sala de aula. Porém, em relação à produção científica, a maioria dos alunos (6 de 7) concordou que as grandes contribuições científicas são feitas por "gênios", majoritariamente homens que trabalham sozinhos. Quanto à questão da igualdade de gênero, todos dos alunos afirmaram que homens e mulheres possuem a mesma capacidade para aprender e seguir carreira científica, e a maioria dos alunos (6 de 7) acreditavam que não há discriminação na comunidade científica, e que ambos têm as mesmas oportunidades. Pode-se observar que as respostas dos estudantes, com exceção das questões que abordam a igualdade de gênero e a capacidade para aprender e seguir carreira científica, não reflete a realidade observada na dinâmica de produção de conhecimento científico e indica a importância de abordar a discriminação que as mulheres sofreram na Ciência ao longo da história.

Participação e dinâmica nas aulas

O diário de bordo revelou uma participação ativa dos estudantes da EJA ao longo da aplicação da sequência didática. As discussões sobre temas de radioatividade a partir da História da Ciência relacionada

ao cotidiano dos alunos gerou bastante curiosidade por parte deles. Muitos demonstraram interesse por questões como as ondas eletromagnéticas, os riscos da radiação a nossa saúde, como são feitos os exames de raios-X, a natureza da energia da nuclear, a relação das pesquisas de Marie Curie com o desenvolvimento das bombas atômicas, entre outras coisas. Ademais, os alunos fizeram diversos questionamentos e compartilharam experiências pessoais, isso reforça a importância da contextualização do conteúdo para o público da EJA.

Todavia, evitou-se usar termos técnicos complexos da Ciência, visto que os alunos disseram ter dificuldade para memorizá-los. Assim, quando foram apresentados os conceitos mais abstratos (tais como ondas eletromagnéticas, luminescência, hiperfosforescência e radioatividade) recorreu-se ao uso de imagens e vídeos para ilustrar o que estava sendo apresentado.

Quanto aos conceitos de Filosofia da Ciência, também foram apresentados sem o uso de termos técnicos. Todos os conceitos foram exemplificados por meio de referências que os alunos conheciam. Um exemplo é o conceito de “estilo de pensamento” e “subdeterminação”, os quais foram explicados por meio das teorias geocêntricas que tinham respaldo na Bíblia, mas que foram questionadas por meio experimentos científicos realizados por diversos cientistas. Os alunos demonstraram muito interesse nessa discussão.

Debates sobre a publicação de resultados, comunicação científica, credibilidade das pesquisas dos cientistas e o papel do erro na Ciência foram profícuos. Os alunos fizeram comparações entre o contexto histórico das primeiras pesquisas de Roentgen sobre os raios-X com o contexto científico atual. Apresentaram um questionamento em relação à comunicação científica: qual a razão das publicações científicas atuais não serem feitas nas redes sociais? O que gerou um debate entre eles sobre os direitos autorais das publicações científicas.

Houve também uma discussão sobre a questão do “gênio” cientista e as oportunidades que estes tiveram em vida, a qual foi relacionada com a própria realidade dos alunos. Muitos refletiram sobre as próprias condições econômicas e sociais. A maioria deles relatou que não tiveram oportunidades de estudar no ensino regular e por isso estão na EJA.

HFC e conceitos científicos

O Questionário 2, aplicado ao término da sequência didática, permitiu avaliar o aprendizado dos conceitos abordados nas aulas.

Em relação à *perspectiva de gênero*. Nas questões abertas, a maioria dos alunos reconheceu a presença de questões de gênero na Ciência, principalmente pela “pouca/falta de mulheres cientistas”. A história de Marie Curie foi fundamental para que a maioria identificasse a discriminação sofrida por ela (“foi proibida de estudar”, “discriminada”). Na questão de múltipla escolha, a maioria dos alunos (6 de 7)

assinalaram que é importante considerar a perspectiva de gênero para "garantir a igualdade de oportunidades", demonstrando uma assimilação do aspecto social abordado. Isso se relaciona com os comentários que os alunos fizeram nas aulas: "Por mais que consigam provar que as mulheres são capazes de fazer esses serviços, ainda a desigualdade salarial entre elas e os homens é grande. O homem sempre ganha mais que a mulher, mesmo fazendo a mesma função".

Em relação aos *conceitos sobre radioatividade*. A maioria dos alunos compreendeu corretamente que a radioatividade é um tipo de emissão de radiação, e que nem toda radiação é maléfica, além de identificarem que urânio, polônio e rádio não são os únicos elementos radioativos. A atribuição da descoberta da radioatividade à Marie Curie foi reconhecida pela maioria dos alunos.

Em relação aos *conceitos de HFC*. Apesar do engajamento em aula, o questionário revelou lacunas na assimilação de alguns conceitos mais abstratos da HFC, indicando que as discussões podem não ter sido suficientes para o entendimento desses conceitos. Vale ressaltar que a literatura¹⁶ indica que, são escassas as pesquisas que abordam aspectos históricos e filosóficos da Ciência no contexto da Educação de Jovens e Adultos, sendo praticamente inexistente a integração dessas dimensões na formação desse público. Um currículo rigidamente estruturado, aliado a práticas pedagógicas tradicionais e pouco dinâmicas, avança de forma lenta e limitada, agravado por uma carga horária reduzida e pela escassez de abordagens e disciplinas que estimulem o pensamento crítico e reflexivo¹⁶.

Em relação à *fosforescência e radioatividade*. Todos os alunos marcaram "Verdadeiro" para a afirmação falsa "Todos os compostos fosforescentes emitem radioatividade", mostrando que, provavelmente, não conseguiram fazer a distinção entre a hiperfosforescência e a radioatividade espontânea. Esse resultado não é surpreendente quando se considera que mesmo estudantes de graduação e pós-graduação apresentam compreensões superficiais sobre a temática³⁵. As informações desses estudantes geralmente são veiculadas pela imprensa, raramente oriundas de estudos científicos ou fontes especializadas, o que contribui para que o tema seja pouco compreendido, frequentemente temido e, em muitos casos, rejeitado. De modo geral, esses indivíduos demonstram dificuldade em definir o conceito, mesmo parcialmente, e apresentam escasso conhecimento acerca da maioria de suas aplicações práticas e tecnológicas³⁵.

Em relação à *coletividade científica*. Todos os alunos marcaram "Verdadeiro" para a afirmação falsa "Marie Curie fez suas pesquisas totalmente sozinha no laboratório". Isso sugere que a concepção do cientista enquanto "gênio solitário" persistiu, apesar das discussões sobre a coletividade da Ciência.

Em relação à *importância do erro na Ciência*. Todos alunos marcaram "Verdadeiro" para a afirmação falsa "As pesquisas de Becquerel com os sais de urânio não tiveram importância para a Ciência".

³⁵ Alphonse Kelecom, Rita de Cássia dos Santos Gouvea, "A percepção da radioatividade por estudantes de nível superior", *Mundo & Vida* 3, nº 2, (2002): 78-89.

Isso indica uma falha na compreensão do valor dos primeiros passos da investigação científica, mesmo que as conclusões iniciais não fossem as definitivas.

Em relação à *subdeterminação*. Todos os alunos marcaram "Verdadeiro" para a afirmação falsa "As concepções teóricas dos cientistas não influenciam suas pesquisas". Este é um dos pontos principais da epistemologia de Fleck e Laudan. Isso demonstra que os alunos não compreenderam que o contexto e as ideias pré-concebidas dos cientistas podem influenciar os resultados de seus experimentos.

Em relação à *importância do estudo de História da Ciência*. Todos os alunos consideraram "Muito importante" ou "Muito importante pra mim" estudar sobre a história da radioatividade. As justificativas focaram na aprendizagem de fatos ("aprendi muito sobre os elementos e quem os descobriu e como eles agem") e na valorização da oportunidade de saber mais sobre o tema. Essa alta percepção de importância reforça o potencial da abordagem para essa modalidade de ensino. É importante destacar que, tal como pontua Guarnieri *et al.* (2021), a História e Filosofia da Ciência vêm sendo apontada como fundamental para a compreensão científica, inclusive pela Base Nacional Comum Curricular³⁶.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados coletados indicam que a sequência didática alcançou seus objetivos centrais, especialmente no que tange ao engajamento dos estudantes e à promoção de reflexões críticas sobre a natureza do conhecimento científico. A participação ativa e as interações significativas observadas em sala de aula evidenciam que a articulação entre os conteúdos científicos e as experiências cotidianas dos alunos contribuiu para conferir maior relevância social e pessoal ao processo de ensino-aprendizagem. Ademais, a abordagem histórico-filosófica, particularmente a narrativa da trajetória de Marie Curie, mostrou-se eficaz para instigar debates acerca do papel do gênero na Ciência e na sociedade, favorecendo o desenvolvimento de uma postura crítica frente às estruturas de poder que atravessam a produção do conhecimento.

Contudo, a análise dos instrumentos de avaliação (principalmente as respostas aos questionários e as transcrições das discussões em sala) revelou limitações na apropriação de conceitos epistemológicos mais complexos, tais como a influência das concepções teóricas dos cientistas sobre suas investigações (tese da subdeterminação) e o caráter coletivo e negociado da construção científica. Persistiram, também, equívocos conceituais em relação a fenômenos físico-químicos específicos, como a confusão entre fosforescência e radioatividade, indicando que, apesar das mediações realizadas, alguns conteúdos demandam estratégias didáticas complementares, com maior grau de sistematização e retomada conceitual.

³⁶ Patricia Vecchio Guarnieri, Mônica Regina Vieira Leite, Beatriz Salemme Corrêa Cortela, Sandra Regina Teodoro Gatti, "História e filosofia da ciência na educação básica: reflexões a partir da Base Nacional Comum Curricular", *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* 14, nº 2 (2021): 331-356.

Apesar das fragilidades pontuais apontadas anteriormente, os resultados demonstram o potencial pedagógico significativo da sequência didática para a EJA. Ao humanizar a Ciência (apresentando-a como empreendimento histórico, social e culturalmente situado), a proposta contribuiu para desconstruir visões essencialistas e descontextualizadas do conhecimento científico. Nesse sentido, reafirma-se a História e Filosofia da Ciência como ferramenta pedagógica estratégica para um ensino inclusivo, crítico e significativo, capaz de promover não apenas a alfabetização científica, mas também a formação de sujeitos reflexivos e socialmente engajados.

SOBRE OS AUTORES:

Erick Rocatelli

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Campo Mourão

rocatellierick@gmail.com

Adriano Lopes Romero

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Campo Mourão

adrianoromero@utfpr.edu.br

Artigo recebido em 17 de setembro de 2025
Aceito para publicação em 18 de dezembro de 2025



Todo conteúdo desta revista está licenciado em Creative Commons CC By 4.0.

APÊNDICE

Sequência Didática intitulada “Contribuições de Marie Curie para o desenvolvimento da radioatividade”

Aula 1 e 2 - Radiação eletromagnética

I. Conteúdo: Aspectos históricos da Química
Classificação segundo o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná:
<ul style="list-style-type: none"> Unidade temática: 1 (Materiais e suas propriedades) Habilidade: (EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica. Objeto de conhecimento: modelos atômicos
II. Pré-requisito(s): Constituição da matéria
III. Número de aulas: 2 h/a de 50 minutos cada
IV. Objetivos:
<ul style="list-style-type: none"> Geral: Apresentar os diferentes tipos de radiações eletromagnéticas existentes. Científico: Explicar como as radiações eletromagnéticas são emitidas, contar a história da descoberta dos raios-X e apresentar o impacto dessa descoberta na comunidade científica francesa. Pedagógico: Desmistificar o conceito de radiação, mostrar a presença da radiação eletromagnética no nosso dia-a-dia, contextualizar a descoberta dos raios-X.
V. Perguntas norteadoras:
<ul style="list-style-type: none"> O que é a radiação eletromagnética? Quais são os tipos de radiações eletromagnéticas existentes? A radiação é sempre maléfica para o ser humano e para os outros seres vivos? Como a radiação eletromagnética afeta a nossa vida? Onde e como a utilizamos? O que são os raios-X? Como os raios x foram descobertos? Qual foi o impacto dessa descoberta no meio científico da época? Como os raios-X são utilizados? Qual a importância dos raios-X nos tratamentos médicos?
VI. Materiais:
<p>FILHO, O. S. Breve histórico dos cem anos da descoberta dos raios x: 1895-1995. Química Nova, v. 18, n. 6, p. 574-583, 1995.</p> <p>MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 7, p. 27-45, 1990.</p> <p>MARTINS, R. A. A descoberta dos raios x: o primeiro comunicado de Röntgen. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n. 4, p. 373-391, 1998.</p>
VII. Metodologia:
<p>- Primeira aula teórica (1 h/a)</p> <p>A aula será expositiva oral dialogada, começando com as quatro primeiras questões norteadoras apresentadas no item V deste plano. Com base nas respostas dos alunos e considerando seus conhecimentos prévios, será apresentada uma explicação teórica sobre o que são as ondas eletromagnéticas e como elas estão presentes na nossa vida.</p> <p>Ao término da aula, espera-se que os alunos sejam capazes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entender como as ondas eletromagnéticas são emitidas e como se propagam no espaço, identificando assim os diferentes tipos de ondas existentes. - Entender a importância das ondas eletromagnéticas para os seres vivos, bem como sua utilização para a criação de tecnologias. - Lembrar os conceitos aprendidos nesta aula, para que sejam utilizados como fundamentos para a aula subsequente. <p>- Segunda aula teórica (1 h/a)</p>

A aula será expositiva oral dialogada, começando com um breve resumo da aula anterior, para que os alunos possam relembrar os conceitos vistos anteriormente. Adiante, serão feitas as quatro últimas perguntas norteadoras presentes no item V deste plano para identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a natureza e utilização dos raios-X. Assim, partindo dos conhecimentos prévios dos alunos, será feito um relato histórico sobre a descoberta dos raios, suas implicações para comunidade científica da época e o seu posterior uso em variadas tecnologias.

Ao término da aula, espera-se que os alunos sejam capazes de:

- Entender como o cientista Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios-X, bem como as consequências de sua descoberta para as pesquisas científicas da época.
- Entender o que são os raios-X e como eles são utilizados pelos seres humanos.
- Lembrar os conceitos aprendidos nesta aula, para que sejam utilizados como fundamentos para a aula subsequente

VIII. Avaliação:

Avalie as afirmações a), b), c) e d) e indique sua opinião selecionando uma das opções abaixo:

- ✓ Discordo totalmente (DT)
- ✓ Discordo (D)
- ✓ Não tenho opinião/Indiferente (I)
- ✓ Concordo (C)
- ✓ Concordo totalmente (CT)

a) Para aprender Ciência não é necessário estudar o desenvolvimento dos conceitos e teorias desenvolvidas, apenas um resumo dos conceitos e teorias mais recentes é suficiente.

DT () D () I () C () CT ()

b) As grandes contribuições científicas são feitas por gênios, na maioria das vezes por homens que realizam pesquisas sozinhos em grandes laboratórios.

DT () D () I () C () CT ()

c) Homens e mulheres possuem a mesma capacidade para aprender Ciências e seguir uma carreira científica.

DT () D () I () C () CT ()

d) Na comunidade científica não há discriminação de gêneros, tanto homens quanto mulheres tem as mesmas chances de desenvolver uma carreira científica.

DT () D () I () C () CT ()

IX. Resultados esperados:

Após as aulas ministradas, espera-se que os alunos consigam identificar os diferentes tipos de radiação eletromagnéticas existentes e suas aplicações nas tecnologias usadas por eles. Além disso, que entendam a relevância das pesquisas de Wilhelm Conrad Roentgen com os raios-X para a comunidade científica da época, sobretudo para Academia de Ciências da França.

Aula 2 e 3 - Dos raios-X à hiperfosforescência

I. Conteúdo: Aspectos históricos da Química

Classificação segundo o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná:

- **Unidade temática:** 1 (Materiais e suas propriedades)

<ul style="list-style-type: none"> Habilidade: (EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica. Objeto de conhecimento: Modelos atômicos
II. Pré-requisito(s): Constituição da matéria
III. Número de aulas: 2 h/a de 50 minutos cada
IV. Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> Geral: apresentar as implicações da descoberta dos raios-X para a criação do conceito de hiperfosforescência. Científico: contar a história do impacto que a descoberta dos raios-X gerou nas pesquisas da Academia de Ciências da França, apresentar o conceito de hiperfosforescência criado pelo cientista Antoine-Henri Becquerel. Pedagógico: provocar a reflexão sobre como o conhecimento científico é produzido desenvolvido, mostrar a importância da comunidade científica para as pesquisas dos cientistas, discutir sobre como as teorias influenciam as evidências científicas.
V. Perguntas norteadoras: <ul style="list-style-type: none"> O que é o fenômeno da luminescência? Quais são os tipos de luminescência existentes? Existe alguma relação entre luminescência e a emissão dos raios-X? Qual foi importância da comunidade científica da França para as pesquisas com os raios-X? Por que a comunidade científica resiste em questionar suas Suposições Diretivas? Por que Becquerel criou o conceito de hiperfosforescência? Qual foi a importância desse conceito para a época em que foi criado?
VI. Materiais: <ul style="list-style-type: none"> - Teórico: <p>FLECK, L. Gênese e desenvolvimento de um fato científico. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.</p> <p>LAUDAN, L. et al. Mudança científica: modelos filosóficos e pesquisa histórica. Estudos Avançados, v. 7, n. 19, p. 7-90, 1993.</p> <p>MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 7, p. 27-45, jun. 1990.</p> <p>MARTINS, R. A. Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta hiperfosforescência por Becquerel e Thomson. Ciência e Educação, v. 10, n. 3, p. 501-516, 2004.</p>
VII. Metodologia: <ul style="list-style-type: none"> Primeira aula teórica (1 h/a) A aula será expositiva oral dialogada, começando com as duas primeiras questões norteadoras apresentadas no item V deste plano. Com base nas respostas dos alunos e considerando seus conhecimentos prévios, será apresentada uma explicação teórica sobre a diferença entre fosforescência e fluorescência. Em seguida, será feita uma relação entre esses dois fenômenos físicos com a emissão de raios-X, com base na história das pesquisas de Jules Henri Poincaré, Charles Henry e Gaston-Henri Niewenglowski. Ao término da aula, espera-se que os alunos sejam capazes de: <ul style="list-style-type: none"> - Entender o que é fluorescência e fosforescência. - Entender que a emissão dos raios-X independe do fenômeno da luminescência. - Entender como ocorre a troca de ideias entre os cientistas. - Lembrar os conceitos aprendidos nesta aula, para que sejam utilizados como fundamentos para a aula subsequente. Segunda aula teórica (1 h/a)

A aula será expositiva oral dialogada, começando com um breve resumo da aula anterior, para que os alunos possam relembrar os conceitos vistos anteriormente. Adiante, serão feitas as duas últimas perguntas norteadoras presentes no item V deste plano para provocar a reflexão dos alunos sobre como o conhecimento científico é desenvolvido e por que os cientistas resistem em aceitar novas teorias que não se enquadram nas teorias hegemônicas vigentes. Dessa forma será apresentado um possível os motivos para Antoine Henri Becquerel ter criado o conceito de hiperfosforescência.

Ao término da aula, espera-se que os alunos sejam capazes de:

- Entender a importância da comunidade científica na criação dos conceitos científicos.
- Entender que as evidências são subdeterminadas pelas concepções teóricas que os cientistas carregam.
- Lembrar os conceitos aprendidos nesta aula, para que sejam utilizados como fundamentos para a aula subsequente

VIII. Avaliação:

Nenhuma

IX. Resultados esperados:

Após as aulas ministradas, espera-se que os alunos entendam que a troca de ideias entre os cientistas é fundamental para o desenvolvimento da Ciência e que as concepções teóricas carregadas pelos pesquisadores influenciam suas evidências científicas. Ademais, espera-se que eles percebam que há uma resistência na criação de novas teorias no meio científico.

Aula 3 e 4 - Marie Curie e a radioatividade

I. Conteúdo: Elementos químicos radioativos

Classificação segundo o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná:

- **Unidade temática:** 1 (Materiais e suas propriedades)
- **Habilidade:** (EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na sua saúde, na indústria e na geração de energia elétrica.
- **Objeto de conhecimento:** Radioatividade

II. Pré-requisito(s): Modelos atômicos

III. Número de aulas: 2 h/a de 50 minutos cada

IV. Objetivos:

- **Geral:** contar a história das pesquisas de Marie Curie com elementos radioativos mostrando os percalços encontrados por essa cientista, apresentar a revolução teórica que a descoberta da radioatividade causou na Ciência.
- **Científico:** contar como Marie Curie criou o conceito de radioatividade e provou a existência dos elementos radioativos, revelar como as questões de gênero interferiram diretamente nas pesquisas dessa cientista.
- **Pedagógico:** provocar a reflexão sobre a exclusão das mulheres cientistas do meio científico, mostrar como as pesquisas de Marie Curie romperam com as Suposições Diretivas da comunidade científica francesa.

V. Perguntas norteadoras:

- O que é radioatividade?
- Por que existem elementos químicos radioativos?
- Quem foi Marie Curie?
- Como a forma de pensar da sociedade francesa interferiu nas pesquisas de Marie Curie?
- Por que as teorias de Marie Curie foram revolucionárias?

- Quais são os perigos do contato com elementos radioativos?

VI. Materiais:

FERREIRA, P. K.; GENOVESE, C. L. C. R. Os desafios das mulheres na Ciência: Marie Curie como figura feminina no campo científico. *Revista Educação, Ciência e Cultura*, Canoas, v. 27, n. 2, p. 1-16, 2022.

FLECK, L. *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

LAUDAN, L. et al. Mudança científica: modelos filosóficos e pesquisa histórica. *Estudos Avançados*, v. 7, n. 19, p. 7-90, 1993.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 7, p. 27-45, jun. 1990.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. *Revista da SBHC*, n. 1, p. 29-41, 2003.

PUGLIESE, G. Um sobrevôo no “Caso Marie Curie”: um experimento de antropologia, gênero e ciência. *Revista de Antropologia*, São Paulo, v. 50, n. 1, p. 347-385, 2007.

VII. Metodologia:

- Primeira aula (1 h/a)

A aula será expositiva oral dialogada, começando com as duas primeiras questões norteadoras apresentadas no item V deste plano. Com base nas respostas dos alunos e considerando seus conhecimentos prévios, será apresentada uma explicação teórica sobre o que é radioatividade e como esse conceito foi desenvolvido e a relação deste com o conceito de hiperfosforescência.

Ao término da aula, espera-se que os alunos sejam capazes de:

- Entender o que é radioatividade.
- Entender por que existem elementos radioativos
- Entender a revolução científica que a criação do conceito de radioatividade causou na Ciência.
- Entender como a radioatividade é utilizada para tratamentos médicos e para geração de energia elétrica.
- Lembrar os conceitos aprendidos nesta aula, para que sejam utilizados como fundamentos para a aula subsequente.

- Segunda aula (1 h/a)

A aula será expositiva oral dialogada, começando com um breve resumo da aula anterior, para que os alunos possam relembrar os conceitos vistos anteriormente. Adiante, será contada a história das pesquisas que Marie Curie realizou com elementos radioativos, apresentando assim alguns obstáculos encontrados pela cientista.

Ao término da aula, espera-se que os alunos sejam capazes de:

- Entender como as questões de gênero interferem no trabalho científico.
- Entender que os obstáculos encontrados por Marie Curie na realização de suas pesquisas determinaram, em parte, seus resultados.
- Entender que a conclusão a que Marie Curie chegou, a respeito do fenômeno da radiação invisível, se diferenciou da conclusão de Becquerel, sobre o mesmo fenômeno, justamente pela as concepções teóricas que ela carregava.

Marie Curie é ambígua: em parte ela é uma exceção

- Entender que as evidências são subdeterminadas pelas concepções teóricas que os cientistas carregam.

VIII. Avaliação:

1. Como as questões de gênero estão presentes na Ciência?
2. Qual foi o impacto que as questões de gênero causaram na carreira de Marie Curie?
3. Por que é importante considerar a perspectiva de gênero na Ciência? Assinale apenas uma alternativa:

- a) Para promover a diversidade
- b) Para entender melhor como a natureza funciona
- c) Para garantir a igualdade de oportunidades
- d) Para desenvolver tecnologias inovadoras

4. Qual foi o papel de Marie Curie na descoberta da radioatividade?

5. Marque com V (verdadeiro) ou F (falso) as seguintes afirmações:

- () A radioatividade é um tipo de radiação
- () A radioatividade é a emissão de radiação
- () Toda radiação é maléfica para os seres vivos
- () O urânio, o polônio e o rádio são os únicos elementos radioativos que existem
- () Todos os compostos fosforescentes emitem radioatividade
- () Marie Curie fez suas pesquisas totalmente sozinha no laboratório
- () As pesquisas de Becquerel com os sais de urânio não tiveram importância para a Ciência
- () As concepções teóricas dos cientistas não influenciam suas pesquisas

6. O quanto importante para você foi estudar sobre a história da radioatividade?

IX. Resultados esperados:

Após as aulas ministradas, espera-se que os alunos compreendam que as relações sociais são intrínsecas ao trabalho científico e, por isso, as questões de gênero interferem diretamente nas pesquisas das cientistas. Também se espera que eles entendam que a jornada de Marie Curie foi marcada por uma ambiguidade: por ter sido uma exceção à regra, pois ela conseguiu superar parte dos obstáculos de gênero impostos a ela; e, ao mesmo tempo, uma prova de que as questões de gênero sempre interferem o trabalho das cientistas mulheres.