

Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear

Michael Jonh dos Santos Ribeiro¹, Lucas dos Santos Fernandes²

¹Licenciando em Ciências da Natureza pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF/Brasil)

²Docente da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF/Brasil)

Didactic Sequence Based on Elements of the History and Philosophy of Science for the Teaching of Nuclear Fission

Informações do Artigo

Recebido: 06/05/2022

Aceito: 10/11/2022

Palavras-chave:

Fissão nuclear; História e Filosofia da Ciência; Sequência didática; Radioatividade; Ensino de Química.

Keywords:

Nuclear fission; History and Philosophy of Science; Didactic sequence; Radioactivity; Teaching of Chemistry.

E-mail:

michaeljonhsantosribeiro@gmail.com

ABSTRACT

The use of History and Philosophy of Science in the teaching of Chemistry, linked to appropriate didactic strategies, has achieved good results in relation to the construction of scientific concepts and on the nature of Science by students. The history of nuclear fission reveals a path of questioning and contributions from various men and women throughout the first half of the 20th century. The aim of this study is to develop a historical approach to the teaching of nuclear fission from a didactic sequence. The present work can be categorized as a developmental research, in which the prototype of a didactic sequence for the teaching of nuclear fission and other related scientific concepts was produced. The implementation of the didactic sequence developed in the school context can contribute to the scientific and technological literacy of students.

INTRODUÇÃO

A fissão nuclear pode ser definida como “Uma reação em cadeia em que núcleos grandes e instáveis são quebrados por projéteis – como o nêutron (0_1n) – produzindo núcleos menores e uma grande quantidade de energia” (PASSOS; SOUZA, 2012, p. 83). Esse fenômeno pode ocorrer de forma espontânea ou induzida através do bombardeamento de núcleos atômicos com projéteis. Durante a fissão nuclear são liberados mais nêutrons, que por sua

vez, atingem outros núcleos, provocando uma reação em cadeia que libera grandes quantidades de energia. A energia da fissão nuclear pode ser utilizada, dentre outras finalidades, para a detonação de bombas atômicas, para a geração de energia elétrica e para a síntese de radiofármacos, medicamentos que contêm um isótopo de um elemento químico radioativo (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os estudantes brasileiros devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, apresenta o conteúdo de fissão nuclear na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na etapa do Ensino Médio (BRASIL, 2018).

Apesar dos esforços empreendidos pelos professores durante o ensino, os estudantes apresentam diversas concepções alternativas sobre fissão nuclear, como por exemplo: (i)- confusão entre fusão e fissão nuclear; (ii)- radioatividade é produzida apenas a partir da fusão e da fissão nuclear; (iii)- fissão é a única reação que pode ocorrer no núcleo atômico; (iv)- radioatividade é produzida apenas no interior dos reatores nucleares onde ocorre a fissão (LÓPEZ; MARCO, 2022; TSAPARLIS; HARTZAVALOS; NAKIBOGLU, 2013).

Diante desse cenário, estratégias didáticas baseadas na História e Filosofia das Ciências (HFC), podem ser mobilizadas para o ensino da fissão nuclear, pois essas abordagens, quando realizadas de forma adequada, favorecem a compreensão de conceitos científicos e sobre a natureza da Ciência (MATTHEWS, 2014). Em relação ao Ensino de Química, Leal (2009) afirma que abordagens históricas podem promover a aprendizagem significativa e uma educação para a cidadania.

Uma parcela da sociedade teme as aplicações da radioatividade por desconhecer os conceitos científicos relacionados a esse fenômeno (DAMASIO; TAVARES, 2017; SIERSMA et al., 2021). Nesse sentido, a educação científica pode contribuir para minimizar a formação de concepções alternativas e conscientizar a sociedade em relação à segurança das aplicações da radioatividade. Dessa forma, podem-se planejar estratégias didáticas nas quais os conhecimentos prévios dos estudantes possam ser complementados à luz do conhecimento científico. Torna-se urgente desconstruir visões distorcidas sobre a radioatividade formadas a partir de acidentes envolvendo radiação nuclear (Chernobyl – 1986, Goiânia – 1987, Fukushima – 2011) e construir visões críticas apoiadas em conhecimentos e evidências científicas.

O presente estudo parte do pressuposto que o Ensino de Química pode contribuir para que os estudantes desenvolvam visões adequadas (de acordo com o aceito pela comunidade científica) e críticas sobre a fissão nuclear e suas aplicações. Levando em consideração que o conceito de fissão nuclear é contemplado na BNCC e que a HFC pode contribuir para o ensino,

o objetivo deste estudo consiste em desenvolver uma sequência didática baseada em elementos da HFC para o ensino do conceito de fissão nuclear e demais conceitos relacionados, tais como: átomo, próton, nêutron, núcleo, energia, radiação, entre outros.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho está dividida em três partes: (i)- Breve histórico da fissão nuclear; (ii)- Aplicações da fissão nuclear; (iii)- Contribuições da História e Filosofia das Ciências para o Ensino de Ciências.

Breve Histórico da Fissão Nuclear

Em 1934, um grupo de cientistas da Universidade de Palermo, liderado pelo físico italiano Enrico Fermi (1901-1954), realizava experimentos envolvendo a irradiação de núcleos de urânio com nêutrons desacelerados. Após analisarem os produtos da irradiação, os italianos acreditaram ter sintetizado dois novos elementos químicos de número atômico 93 e 94 ou 95 (FERMI, 1934). A formação dos elementos transurânicos (elementos que apresentam número atômico maior que o do urânio, ou seja, $Z > 92$) poderia ser explicada pela absorção de nêutrons pelos núcleos de urânio. Por essas pesquisas, Fermi foi laureado com o Prêmio Nobel de Física em 1938.

Após as primeiras publicações do grupo de Fermi sobre a possível produção de elementos transurânicos, a geoquímica alemã Ida Noddack (1896-1978) publicou um artigo sugerindo que, na realidade, os italianos produziram isótopos de elementos químicos mais leves por meio da divisão do núcleo de urânio causada pela irradiação com nêutrons (NODDACK, 1934). Noddack foi a primeira cientista a considerar publicamente a possibilidade da divisão do núcleo atômico, interpretando os supostos transurânicos de Fermi como isótopos de elementos conhecidos.

O artigo de Noddack não recebeu a devida atenção e os principais grupos de pesquisa em radioquímica, instalados na Alemanha, na França e na Itália, prosseguiram seus estudos acreditando na produção de elementos transurânicos. Isso pode ser explicado, pelo menos em parte, considerando que, nessa época, a sugestão de Noddack parecia improvável, pois acreditava-se que o núcleo atômico não poderia ser modificado por ação de forças externas. Além disso, do ponto de vista energético, a quebra do núcleo atômico, caso fosse possível, exigiria uma quantidade de energia muito maior que a proporcionada pela colisão do núcleo com nêutrons desacelerados. Analisando o contexto científico da época, Hook (2007) avalia que a sugestão da fissão nuclear pode ter sido prematura para a época, ou seja, não havia

uma explicação lógica e consensual entre os membros da comunidade científica para a divisão do núcleo atômico.

Interessada nos resultados do grupo italiano, na Alemanha, Lise Meitner (1878-1968) se propôs a investigar a síntese de transurânicos. Para essa empreitada ela convidou o experiente químico Otto Hahn (1879-1968), que por sua vez, trouxe consigo seu orientando de doutorado, Fritz Strassmann (1902-1980). Hahn e Meitner eram colaboradores de longa data, juntos haviam descoberto o elemento químico protactínio (HAHN; MEITNER, 1918). Utilizando o mesmo método dos italianos, irradiando núcleos de urânio com nêutrons, o grupo alemão não apenas corroborou a existência dos transurânicos produzidos por Fermi e seu grupo, como também evidenciou a descoberta de outros, de número atômico 95, 96 e 97 (MEITNER; HAHN; STRASSMANN, 1937).

Na França, Irène Joliot-Curie (1897-1956) e Paul Savitch relataram a presença de um elemento químico semelhante ao lantânio entre os produtos da irradiação de núcleos de urânio com nêutrons (CURIE; SAVITCH, 1938). Eles acreditavam que se tratava de algum tipo de contaminação, pois não havia explicação para a síntese de um elemento de número atômico tão baixo ($Z = 57$). Na realidade, os experimentos conduzidos por Joliot-Curie e Savitch levaram à divisão do núcleo de urânio e produziram lantânio contaminado com Ítrio ($Z = 39$) (HERRMANN, 1990).

Intrigados com os resultados obtidos pelos franceses, em outubro de 1938, Hahn e Strassmann repetiram seus experimentos. Ao analisarem todos os produtos do bombardeamento de urânio com nêutrons, como os franceses haviam feito, Hahn e Strassmann encontraram um elemento químico que eles acreditaram ser rádio ($Z = 88$). Nesse momento, Lise Meitner, que era de família judia, havia deixado a Alemanha em direção à Suécia, onde se exilou por causa da perseguição aos judeus deflagrada pelo governo nazista alemão (SIME, 1997). Após fixar-se em Estocolmo, Meitner e Hahn continuaram a colaboração científica comunicando-se por meio de cartas.

Hahn e Meitner se encontraram secretamente em Copenhague em novembro de 1938. Nesse encontro, eles discutiram a possível formação de rádio a partir do bombardeamento de urânio com nêutrons. Isso só seria plausível se o urânio emitisse duas partículas alfa (${}^4_2\alpha^{2+}$), mas Meitner não acreditava nessa possibilidade e pediu para Hahn refazer os experimentos (SIME, 1998). De volta à Alemanha, Hahn e Strassmann refizeram os experimentos e identificaram a presença de bário ($Z = 56$) entre os produtos do bombardeamento de urânio com nêutrons.

Em dezembro, pouco antes do Natal, Hahn enviou um artigo para publicação, assinado por ele e Strassmann, no qual relatava a formação de bário como produto do bombardeamento de urânio com nêutrons. Hahn também escreveu para Meitner solicitando

uma explicação para a produção de bário. Ela o respondeu afirmando que esse resultado não era impossível, embora inexplicável até então (SIME, 1997). Após a resposta de Meitner, Hahn pediu que o editor da revista acrescentasse mais um trecho ao artigo. Nesse trecho, incorporado à versão final da publicação, Hahn afirmou que a soma das massas do bário (138) e do masúrio (atualmente chamado de tecnécio - 101) era igual à massa do urânio (239) (HAHN; STRASSMANN, 1939). Em outras palavras, Hahn estava sugerindo que o núcleo de urânio, ao ser bombardeado com nêutrons, dividiu-se em dois núcleos menores.

Poucas semanas após a publicação de Hahn e Strassmann, Meitner e o físico Otto Frisch (1904-1979), que era seu sobrinho, forneceram uma explicação para a divisão do núcleo de urânio considerando-o como uma gota de água que pode se fracionar pela quebra da tensão superficial (MEITNER; FRISCH, 1939a). Posteriormente, Frisch denominou esse fenômeno de fissão nuclear, uma analogia com a fissão celular (FRISCH, 1939). Apesar das contribuições de Meitner, Strassmann e Frisch, o reconhecimento pela descoberta da fissão nuclear, pelo menos inicialmente, ficou apenas para Hahn, que foi laureado individualmente com o Prêmio Nobel de Química em 1944.

Apesar do reconhecimento da fissão nuclear, a questão da existência dos transurânicos ainda não estava completamente resolvida. Coube a Meitner e Frisch (1939b) fornecerem as evidências experimentais de que eles não existiam. De fato, os grupos de pesquisa liderados por Fermi, Joliot-Curie e Hahn haviam fissionado o núcleo de urânio, mas não haviam interpretado dessa forma. A primeira síntese de um elemento transurânico ocorreu apenas em 1940, quando os físicos americanos Edwin McMillan e Philip Abelson descobriram o Neptúnio ($Z = 93$) entre os produtos do bombardeamento de núcleos de urânio com nêutrons (MCMILLAN; ABELSON, 1940).

Cerca de 30 anos após a descoberta da fissão nuclear, Strassmann declarou que, desde 1936, havia evidências da produção de bário entre os produtos do bombardeamento de urânio com nêutrons (HOOK, 2007). Contudo, Meitner o desencorajou a realizar uma investigação mais detalhada, pois a produção de bário era improvável pelos motivos já explicados anteriormente.

Após as primeiras publicações sobre a fissão nuclear, Ida Noddack alegou que sua sugestão sobre a possibilidade da divisão do núcleo atômico havia sido ignorada por Hahn e Meitner por quatro anos e que eles não a citaram nas publicações nem mesmo após a descoberta (NODDACK, 1939). Mais uma vez ela foi ignorada.

Enquanto formulava as bases teóricas da fissão nuclear, Meitner relacionou a energia liberada à equação de Einstein: $E = m \cdot c^2$ (FRISCH, 1979). Finalmente, a surpreendente relação entre energia e massa anunciada por Einstein emergiu 34 anos após ter sido concebida (BODANIS, 2001).

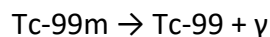
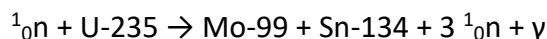
Uma vez evidenciada experimentalmente, os esforços científicos e tecnológicos voltaram-se para controlar a reação em cadeia e aproveitar a grande quantidade de energia liberada durante a fissão nuclear. A seguir serão apresentadas algumas aplicações provenientes dessas pesquisas.

Aplicações da Fissão Nuclear

Os primeiros dispositivos desenvolvidos utilizando o princípio da fissão nuclear, infelizmente, foram as bombas atômicas. Uma bomba atômica é um dispositivo programado para explodir e liberar grande quantidade de energia. Dessa forma, a reação de fissão nuclear em cadeia deve ocorrer de forma rápida. Para isso, é necessário obter a massa crítica concentrada de um radioisótopo físsil, como o urânio-235 (CARDOSO, 2012). Durante a segunda guerra mundial (1939-1945), foram construídas nos Estados Unidos, por meio do projeto *Manhattan*, bombas atômicas de fissão nuclear. Nesse contexto, duas bombas nucleares foram lançadas sobre o Japão em 1945 e marcaram o fim do conflito mundial. A primeira, denominada *little boy* (garotinho), foi lançada na cidade de Hiroshima em 6 de agosto e teve como elemento físsil o urânio-235. A segunda, chamada de *fat man* (homem gordo), foi detonada no dia 9 do mesmo mês em Nagasaki e teve como elemento físsil o plutônio-239 (OKUNO, 2018).

Para além dos fins bélicos, a energia proveniente da fissão nuclear é utilizada principalmente para meios pacíficos, como a geração de eletricidade. As usinas nucleares são usinas térmicas que usam a energia liberada na forma de calor pela fissão nuclear para movimentar vapor de água que move as turbinas que produzem energia elétrica, dessa forma, um reator nuclear é uma central térmica onde a fonte de calor é a fissão de núcleos de urânio-235 (CARDOSO, 2012). A principal vantagem da energia nuclear consiste na diferença entre a grande quantidade de energia gerada em relação à pequena quantidade de material físsil utilizado. Estima-se que 10g de urânio-235 produz energia equivalente a 20 toneladas de óleo e a 25 toneladas de carvão mineral (CARDOSO, 2012).

No campo da Medicina, a principal aplicação da fissão nuclear consiste na síntese de tecnécio-99m, utilizado na medicina diagnóstica de imagem por ser um emissor de radiação gama pura de baixa energia (140keV) (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017). A fissão nuclear do urânio-235 produz molibdênio-99, que por sua vez, produz tecnécio-99m ao emitir uma partícula beta (${}^0_{-1}\beta$). O tecnécio-99m é metaestável e emite radiação gama (γ) formando assim tecnécio-99. Por fim, o tecnécio-99 sofre decaimento e gera o núcleo estável de rutênio por meio da emissão de mais uma partícula beta (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017). Essa sequência de reações nucleares pode ser representada, de forma simplificada, por meio das seguintes equações:



Por apresentar variados estados de oxidação (-3 a +7) e coordenação, o tecnécio-99m compõe a fórmula de mais de 30 radiofármacos (MARQUES; OKAMOTO; BUCHPIGUEL, 2001). O pertecnetato de sódio (NaTcO_4) é o principal radiofármaco obtido a partir do tecnécio-99m. A radiação gama emitida durante a transição entre o Tc-99m e o Tc-99 é ideal para o diagnóstico por imagem, pois permite captar imagens de excelente resolução. Além disso, o período de meia-vida do Tc-99m é de apenas 6h, o que minimiza o tempo de exposição radioativa do paciente (ZINGALES, 2005).

Grande parte da população mundial se beneficia da fissão nuclear, seja como pacientes, que utilizam radiofármacos marcados com tecnécio-99m, ou consumidores de energia elétrica gerada a partir usinas nucleares. Dentro de uma perspectiva democrática, conhecimentos científicos básicos sobre fissão nuclear são importantes para que os cidadãos possam participar de alguma forma da tomada de decisão em relação a esse fenômeno. Essas decisões podem envolver, entre outras possibilidades, o uso de um radiofármaco à base de tecnécio-99m ou à opção pela energia de origem nuclear.

Contribuições da História e Filosofia das Ciências para o Ensino de Ciências/Química

Abordagens didáticas baseadas na HFC podem auxiliar os docentes na explicação de conceitos científicos, pois o uso de episódios históricos de forma adequada pode tornar as aulas mais atrativas e resultar em aprendizagens mais satisfatórias. Martins (2006, p. 21-22) afirma que:

O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade.

Os livros didáticos, em sua maioria, enfatizam apenas os resultados positivos atingidos pela Ciência e pela Tecnologia. A consequência dessa omissão se reflete na construção de visões equivocadas sobre a Ciência e a Tecnologia (PEDUZZI, 2006). Segundo Gil-Pérez et al., (2001), introduzir elementos históricos e filosóficos no ensino pode contribuir para o desenvolvimento de visões adequadas acerca do desenvolvimento científico e tecnológico.

Para Martins (2006, p. 23), “O estudo adequado de alguns episódios históricos também permite compreender que a Ciência não é o resultado da aplicação de um “método científico”

que permita chegar à verdade”. Nesse sentido, numa abordagem didática baseada na HFC, os estudantes têm a oportunidade de compreender que a construção do conhecimento científico envolve diferentes métodos científicos. Além disso, é possível observar que os métodos mudam por meio da descoberta de novos fenômenos e da construção de equipamentos mais precisos.

Matthews (2014) elaborou uma lista de argumentos para justificar a inserção da HFC no Ensino de Ciências: 1- humanização da Ciência conectando-a a aspectos sociais, políticos, éticos, culturais, etc.; 2- desenvolvimento do pensamento crítico; 3- aperfeiçoamento da formação de professores; 4- compreensão mais completa de teorias, conceitos e procedimentos típicos da Ciência; 5- compreensão das dificuldades dos estudantes, pois algumas delas podem coincidir com as que os cientistas se depararam no passado.

A HFC humaniza a Ciência, pois a partir dessa abordagem didática é possível observar os erros e acertos ao longo da construção dos conhecimentos científicos. Pensar sobre as seguintes questões: (i)- como as teorias científicas foram elaboradas? (ii)- quais problemáticas precisavam ser resolvidas? (iii)- quais eram os questionamentos da época? (iv)- havia mais de uma teoria para explicar o mesmo fenômeno? (v)- por que os cientistas pensavam assim? pode auxiliar na compreensão de que a Ciência é um empreendimento humano e característico de uma época.

A HFC não substitui o ensino da Ciência, mas dá vida aos temas estabelecidos no currículo, pois conceitos, fórmulas e teorias passam a ter sentido quando suas origens são compreendidas. Abordagens didáticas baseadas na HFC podem auxiliar no entendimento dos métodos da Ciência e na construção de uma visão mais profunda sobre suas ideias (GAVROGLU, 2007). O raciocínio histórico pode ajudar a perceber como o pensamento científico mudou ao longo do tempo e quais fatores (sociais, econômicos, religiosos, culturais, éticos, etc.) influenciaram essa mudança.

Professores de Ciências da Natureza e suas Tecnologias podem aperfeiçoar a sua prática docente a partir do contato com a HFC (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014). Isso ocorre, pois a compreensão sobre a natureza da Ciência poderá impactar na forma como os conceitos científicos serão ensinados pelos docentes.

METODOLOGIA

Este trabalho refere-se a uma pesquisa de desenvolvimento (design research) de uma sequência didática. De acordo com Plomp (2007, p. 13):

[...] a pesquisa em design educacional é o estudo sistemático de projetar, desenvolver e avaliar intervenções educacionais (como programas, estratégias de ensino-aprendizagem e materiais, produtos e sistemas) como soluções para

problemas complexos na prática educacional, que também visa avançar nosso conhecimento sobre as características dessas intervenções e os processos de concepção e desenvolvimento das mesmas.

As pesquisas de desenvolvimento são realizadas em ciclos distribuídos em três fases: 1- análise das necessidades e do contexto; 2- projeto, desenvolvimento e avaliação formativa; 3- avaliação somativa (MCKENNEY, 2001). No presente estudo, são abordados os aspectos das fases 1 e 2.

Na fase 1 foram analisadas a necessidade e o contexto. Nesse sentido, foi observado que a fissão nuclear é um conceito contemplado na BNCC e que apresenta diversas aplicações, portanto, compreendê-lo é necessário para que os cidadãos possam participar da tomada de decisões que envolvem as aplicações desse fenômeno.

Na fase 2, foi desenvolvido o primeiro protótipo da sequência didática que será apresentado nos resultados. Por questões de tempo, investimento e sanitárias, não foi possível implementar a fase 3, que envolve validação, aperfeiçoamento e avaliação dos protótipos.

Antes da elaboração da sequência didática, foi realizada uma pesquisa histórica e historiográfica sobre a descoberta da fissão nuclear na qual foram consultadas fontes históricas primárias e secundárias. As fontes primárias estão relacionadas aos estudos relacionados à descoberta da fissão nuclear (NODDACK, 1934; MEITNER; HAHN; STRASSMANN, 1937; CURIE; SAVITCH, 1938; HAHN; STRASSMANN, 1939; MEITNER; FRISCH, 1939a; FRISCH, 1939; NODDACK, 1939). Em relação às fontes secundárias, foram consultados estudos produzidos por historiadores da Ciência que problematizaram a descoberta da fissão nuclear (HOOK, 2007; BODANIS, 2001; SIME, 1997; SIME, 1998). Essa pesquisa baseou a elaboração da sequência didática sobre a fissão nuclear. Segundo Carvalho (2013, p. 9), sequências didáticas consistem em:

[...] sequências de atividades (aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada atividade é planejada, do ponto de vista do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores.

A partir dessa definição, foi elaborada uma sequência didática para o ensino de fissão nuclear baseada nos momentos pedagógicos propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018):

Quadro 1 – Momentos pedagógicos da sequência didática elaborada

Momentos	Ações
----------	-------

Problematização Inicial	Identificação de conhecimentos prévios; Ligação entre conhecimentos prévios e científicos; Contextualização dos conteúdos com o cotidiano; Discussão crítica dos conteúdos.
Organização do Conhecimento	Ensino organizado dos conceitos, 10eorias, procedimentos e atitudes envolvendo os conteúdos curriculares.
Aplicação do Conhecimento	Aplicação dos conhecimentos construídos nos momentos anteriores em outros contextos.

Fonte: elaborado pelos autores.

A opção pelos momentos pedagógicos para a elaboração da sequência didática está associada ao seu potencial crítico que corrobora com abordagens de ensino baseadas na HFC. Segundo Zabala (1998), a elaboração de uma sequência didática deve levar em consideração oito aspectos fundamentais. O Quadro 2 apresenta esses aspectos e como eles foram inseridos na elaboração da sequência didática sobre fissão nuclear:

Quadro 2 – Aspectos considerados na elaboração da sequência didática

Aspectos	Inserção na Sequência Didática
Identificação de conhecimentos prévios dos estudantes	Durante a problematização inicial (1º momento) os estudantes terão a oportunidade de explicitar seus conhecimentos prévios sobre fissão nuclear.
Conteúdos significativos e funcionais para os estudantes	O conceito de fissão nuclear é significativo e funcional, pois esse fenômeno apresenta aplicações que beneficiam a sociedade (energia nuclear, radiofármacos, etc.).
Adequação ao nível cognitivo dos estudantes	A sequência didática foi elaborada levando em consideração o nível cognitivo de estudantes do ensino médio.
Estabelecimento de ligações entre conhecimentos prévios e científicos	A ligação entre conhecimentos prévios e científicos será realizada mediante a explicitação das concepções prévias dos estudantes durante a problematização inicial (1º momento).
As tarefas são alcançáveis para os estudantes	As atividades planejadas foram pensadas para que todos os estudantes pudessem realizá-las.
Motivação para aprender outros conteúdos	A sequência didática foi elaborada para ensinar o conceito de fissão nuclear e os demais conceitos científicos relacionados.
Autoestima do estudante	O estudante poderá perceber que ao solucionar uma situação-problema (3º momento) alcançou um patamar de progresso importante. Essa percepção pode aumentar sua autoestima.
Aprender a aprender	A partir da experiência com essa sequência didática espera-se que o estudante tenha desenvolvido autonomia para construir novos conhecimentos e para solucionar outras situações-problema escolares e cotidianas.

Fonte: elaborado pelos autores.

Seguindo essas orientações foi elaborado um protótipo de sequência didática sobre fissão nuclear que será apresentado a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sequência didática elaborada trata-se de um protótipo que poderá ser validado, aperfeiçoado e aplicado no ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Os recursos didáticos utilizados ao longo da sequência didática podem ser acessados por meio da internet. Os links estão disponibilizados no Quadro 3.

A sequência didática tem a duração de 8h/aula distribuídas entre os três momentos pedagógicos. O primeiro e o último momentos podem ser realizados em 2h/aula. Por sua vez, o segundo momento pedagógico exige mais tempo (4h/aula), tendo em vista que os conteúdos científicos são ensinados e discutidos de forma organizada. O Quadro 3 apresenta a sequência didática elaborada:

Quadro 3 – Sequência didática elaborada

Momentos	Ações	Recursos	Objetivos
Problematização Inicial 2h/aula	Identificação dos conhecimentos prévios sobre fissão nuclear; Ligação entre a fissão nuclear e o cotidiano por meio de um vídeo sobre a geração de energia nuclear; Problematização do processo de geração de energia elétrica a partir de usinas nucleares.	Vídeo sobre o funcionamento de uma usina nuclear: https://www.youtube.com/watch?v=AxQRHPL_IUo	Identificar os conhecimentos prévios; Relacionar a fissão nuclear ao cotidiano; Discutir criticamente a geração de energia elétrica a partir de usinas nucleares.
Organização do Conhecimento 2h/aula 2h/aula	Aula expositiva e dialogada sobre fissão nuclear utilizando a cartilha da CNEN como texto-base. Leitura e discussão de um texto histórico sobre a descoberta da fissão nuclear.	Cartilha sobre aplicações da radioatividade: http://antigo.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf Texto histórico sobre a descoberta da fissão nuclear: Breve Histórico da Fissão Nuclear (primeiro tópico da fundamentação teórica).	Ensinar os conteúdos relativos à fissão nuclear a partir de uma abordagem histórica.

Aplicação do Conhecimento	Leitura coletiva e criação de um ambiente para a resolução de uma situação-problema (SP).	Situação-Problema: Em 2021, surgiu nos jornais uma notícia sobre a instalação de uma usina de energia nuclear às margens do Rio São Francisco, na cidade de Itacuruba, PE. Ao saber dessa notícia, parte da população da região iniciou uma campanha para impedir a construção da usina nuclear. Diante desse cenário, explique como uma usina nuclear funciona e elabore uma lista de argumentos a favor e contra a instalação da usina em Itacuruba.	Avaliar a construção de conhecimentos a partir da resolução de uma situação-problema.
1h/aula			
1h/aula	Apresentação e discussão das respostas à SP.	Link da notícia: https://marcozero.org/usina-nuclear-em-itacuruba-foi-tema-de-audiencia-publica-no-senado/	

Fonte: Elaborado pelos autores.

No primeiro momento pedagógico, busca-se conhecer quais são os conhecimentos prévios dos estudantes sobre fissão nuclear, nesse momento é importante abrir espaço para ouvir as opiniões e saberes dos estudantes. Alguns questionamentos podem ser levantados para levar os estudantes a refletirem: o que é fissão nuclear? quais as aplicações da fissão nuclear? qual a relação entre energia nuclear e bomba nuclear? Por que uma bomba nuclear é tão devastadora? você sabe como uma usina nuclear produz energia elétrica? O que são radiofármacos? você ou alguém que você conhece utilizou radiofármacos? Essas perguntas poderão despertar a curiosidade dos estudantes levando-os a pensar e a tentar responder a esses questionamentos.

Após essa discussão inicial, é sugerida a exposição de um vídeo explicativo sobre o funcionamento de uma usina nuclear para os estudantes. Nesse vídeo, produzido pela Eletronuclear (empresa estatal que controla as usinas nucleares brasileiras Angra I e Angra II) são explicados de forma simplificada os principais processos envolvidos na produção de energia elétrica por uma usina nuclear, inclusive a fissão nuclear.

Com a curiosidade despertada pelo vídeo, os estudantes poderão demonstrar mais interesse sobre a fissão nuclear e suas aplicações. Aproveitando esse clima de discussão, o

professor pode apresentar algumas explicações preliminares sobre fissão nuclear e estimular que os estudantes façam perguntas sobre esse conteúdo.

Ao final do primeiro momento, o professor poderá solicitar que os estudantes realizem uma pesquisa na internet sobre o que é fissão nuclear e suas aplicações. Os resultados serão discutidos na próxima aula.

No segundo momento pedagógico, o professor poderá fazer uma breve recapitulação das discussões da aula passada e discutir com os estudantes os resultados da pesquisa solicitada anteriormente. Em seguida, o professor poderá iniciar a exposição didática sobre o conteúdo de radioatividade e fissão nuclear, utilizando como texto-base a cartilha sobre as aplicações da radioatividade elaborada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (CARDOSO, 2012).

Na aula seguinte, os estudantes são convidados a ler um texto sobre a história da descoberta da fissão nuclear, elaborado a partir de uma pesquisa histórica e historiográfica. Trata-se de um texto de duas páginas que pode ser discutido com estudantes do Ensino Médio.

Após a leitura do texto histórico, uma nova discussão a descoberta da fissão nuclear poderá ser iniciada. Nesse momento, o professor pode estimular discussões sobre aspectos internos (disputas de prioridade, interpretação de dados experimentais, relação entre teoria e prática, etc.) e externos (questões de gênero, política, religião, etc.) à Ciência que influenciaram a descoberta da fissão nuclear.

Três mulheres cientistas estiveram envolvidas diretamente na descoberta da fissão nuclear: Ida Noddack, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner. Noddack sugeriu a possibilidade da divisão do núcleo atômico e foi ignorada. Por sua vez, Joliot-Curie interpretou o aparecimento do lantânio como uma contaminação, não como um produto da irradiação de urânio com nêutrons. Se ela tivesse interpretado corretamente os resultados experimentais, poderia ter descoberto a fissão nuclear antes dos alemães. Por fim, Meitner orientou os experimentos realizados por Hahn e Strassmann e forneceu, juntamente com Frisch, uma interpretação física para a fissão nuclear (Hook, 2007). Durante a discussão do texto histórico, o professor poderá enfatizar as contribuições das mulheres cientistas para a Ciência e Tecnologia.

Recomenda-se que o terceiro momento pedagógico seja dividido em duas aulas. Na primeira, será apresentada aos estudantes uma situação-problema (SP). A SP foi elaborada a partir de uma notícia real sobre a instalação de uma usina nuclear no sertão de Pernambuco, às margens do Rio São Francisco, em Itacuruba, PE. Para solucionar a SP, os estudantes, divididos em grupos de cinco componentes, poderão mobilizar os conhecimentos construídos nos momentos pedagógicos anteriores para defender ou não a construção de uma usina nuclear no sertão pernambucano. Como material de apoio para a resolução da SP, os

estudantes poderão consultar os recursos didáticos utilizados durante a sequência didática (vídeo sobre geração de energia elétrica a partir de uma usina nuclear, apostila sobre as aplicações da radioatividade e notícia sobre a instalação de uma usina nuclear em Itacuruba). Será solicitado que cada grupo apresente uma solução para a SP na aula seguinte.

Na última aula da sequência didática, as resoluções da SP serão discutidas coletivamente com a mediação do professor. A partir das respostas à SP, o professor poderá avaliar de que forma a sequência didática contribuiu para a construção de aprendizagens sobre os conceitos relacionados à fissão nuclear.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do exposto ao longo deste trabalho, podemos ver a relevância da fissão nuclear e suas aplicações. Dessa forma, o uso da abordagem HFC pode ser uma alternativa relevante para o ensino de conteúdos relacionados à fissão nuclear, pois pode facilitar o entendimento dos conceitos científicos e da natureza da Ciência.

A partir de uma pesquisa histórica e historiográfica sobre a fissão nuclear percebeu-se que a história desse fenômeno, na maioria das vezes, é divulgada de forma distorcida e incompleta. Nesse sentido, foi observada a necessidade de estudos aprofundados sobre os episódios históricos antes de abordá-los em sala de aula visando a aprendizagem dos estudantes.

A ausência de abordagens históricas no ensino de conteúdos científicos talvez seja um dos motivos pela falta de interesse pelas Ciências da Natureza por parte dos estudantes. Nesse sentido, abordagens que utilizam a HFC podem ser utilizadas para ensinar conceitos e teorias científicas de forma contextualizada com o momento histórico em que as descobertas científicas foram realizadas.

Posteriormente, a sequência didática produzida neste estudo será validada, aperfeiçoada e aplicada no ensino de radioatividade na Educação Básica. Espera-se que a abordagem didática baseada na HFC, proposta nesta pesquisa, contribua para a construção de aprendizagens dos conteúdos sobre radioatividade e sobre a natureza da Ciência e que esses conhecimentos levem à alfabetização científica dos estudantes.

Referências

BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. S. P. **História da Ciência para Formação de Professores**. São Paulo, Livraria da Física, 1ª edição, 2014.

- BODANIS, D. **$E = mc^2$** : uma biografia da equação que mudou o mundo e o que ela significa. Rio de Janeiro, Ediouro, 1ª edição, 2001.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular** – Etapa do Ensino Médio. Brasília, 2018.
- CARDOSO, E. M. **Energia Nuclear e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro, CNEM, 3ª edição, 2012.
- CARVALHO, A. M. P. O Ensino de Ciências e a proposição de sequências de Ensino Investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências por Investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo, Cengage Learning, 1ª edição, 2013. p. 1-20.
- CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, S. M. V. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo, SBPC; Viena, IAEA, 1ª edição, 2017.
- CURIE, I.; SAVITCH, P. Sur les radioéléments formés dans l'uranium irradié par les neutrons. II. **Journal de Physique et le Radium**, v. 9, n. 9, p. 355-359, 1938.
- DAMASIO, F.; TAVARES, A. **Perdendo o Medo da Radioatividade**: pelo menos o medo de entendê-la. Campinas, Autores Associados, 1ª edição, 2017.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo, Cortez, 5ª edição, 2018.
- FERMI, E. Possible production of elements of atomic number higher than 92. **Nature**, v. 133, p. 898-899, 1934.
- FRISCH, O. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment. **Nature**, v. 143, p. 276, 1939.
- FRISCH, O. **What Little I Remember**. Cambridge, Cambridge University Press, 1ª edição 1979.
- GAVROGLU, K. **O Passado das Ciências como História**. Porto, Porto Editora, 1ª edição, 2007.
- GIL-PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den nachweis und das verhalten der bei der bestrahlung des urans mittels neutronen entstehenden erdalkalimetalle. **Naturwissenschaften**, v. 27, p. 11-15, 1939.
- HAHN, O.; MEITNER, L. Die muttersubstanz des actiniums, ein neues radioaktives element von langer lebensdauer. **Physikalische Zeitschrift**, v. 19, n. 10, p. 208-218, 1918.
- HERRMANN, G. Five decades ago: from the "transuranics" to nuclear fission. **Angewandte Chemie**, v. 29. n. 5, p. 469-496, 1990.
- HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. In: HOOK, E. B. (Org.). **Prematuridade na Descoberta Científica**. São Paulo: Perspectiva, 1ª edição, 2007. p. 201-237.
- LEAL, M. C. **Didática da Química**: fundamentos e práticas para o Ensino Médio. Belo Horizonte, Dimensão, 1ª edição, 2009.
- LÓPEZ, A. I. M.; MARCO, P. T. Misconceptions, knowledge, and attitudes towards the phenomenon of radioactivity. **Science & Education**, v. 32, n. 2, p. 405-426, 2022.

- MARTINS, R. A. A História das Ciências e seus usos na Educação. *In*: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo, Livraria da Física, 1ª edição, 2006. p. 17-30.
- MATTHEWS, M. R. **Science Teaching**: the contribution of History and Philosophy of Science. New York, Routledge, 2ª edição, 2014.
- MARQUES, F. L. N.; OKAMOTO, M. R. Y.; BUCHPIGUEL, C. A. Alguns aspectos sobre geradores e radiofármacos de tecnécio-99m e seus controles de qualidade. **Radiologia Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 233-239, 2001.
- MCKENNEY, S. E. **Computer-based support for science education materials developers in Africa**: exploring potentials. Enschede, PrintPartners Ipskamp, 1ª edição, 2001.
- MCMILLAN, E.; ABELSON, P. H. Radioactive element 93. **Physical Review**, v. 57, p. 1185-1186, 1940.
- MEITNER, L.; FRISCH, O. Desintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction. **Nature**, v. 143, p. 239-240, 1939a.
- MEITNER, L.; FRISCH, O. Products of the fission of the uranium nucleus. **Nature**, v. 143, p. 471-472, 1939b.
- MEITNER, L.; HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über die umwandlungsreihen des urans, die durch neutronenbestrahlung erzeugt werden. **Zeitschrift für Physik**, v. 106, p. 249-270, 1937.
- NODDACK, I. Über das element 93. **Angewandte Chemie**, v. 47, p. 653-655, 1934.
- NODDACK, I. Bemerkung zu den untersuchungen von O. Hahn, L. Meitner und F. Strassmann über die produkte, die bei der bestrahlung von uuran mit neutronen entstehen. **Naturwissenschaften**, v. 27, p. 212-213, 1939.
- OKUNO, E. **Radiação**: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo, Oficina de Textos, 1ª edição, 2018.
- PASSOS, M. H. S.; SOUZA, A. A. **Química Nuclear e Radioatividade**. Campinas, Átomo. 2ª edição, 2012.
- PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. *In*: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. Florianópolis, Editora da UFSC, 1ª edição, 2006. p. 151-170.
- PLOMP, T. Educational Design Research: an introduction. *In*: PLOMP, T.; NIEVEEN, N. (Orgs.). **An Introduction to Educational Design Research**. Enschede, SLO, 1ª edição, 2007. p. 9-35.
- SIERSMA, P. T.; POL, H. J.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VISSCHER, A. J. Pre-university students' conceptions regarding radiation and radioactivity in a medical context. **International Journal of Science Education**, v. 43, n. 2, p. 179-196, 2021.
- SIME, R. L. **Lise Meitner**: a life in Physics. Berkeley, University of California Press, 1ª edição, 1997.
- SIME, R. L. Lise Meitner and the discovery of nuclear fission. **Scientific American**, v. 278, n. 1, p. 80-85, 1998.
- TSAPARLIS, G.; HARTZAVALOS, S.; NAKIBOGLU, C. Students' knowledge of nuclear science and its connection with civic scientific literacy in two european contexts: the case of newspaper articles. **Science & Education**, v. 22, n. 8, p. 1963-1991, 2013.

ZABALA, A. **A Prática Educativa**: como ensinar? Porto Alegre, Penso, 1ª edição, 1998.

ZINGALES, R. From masurium to trinacrium: the troubled story of element 43. **Journal of Chemical Education**, v. 82, n. 2, p. 221-227, 2005.

RESUMO

A utilização da História e Filosofia da Ciência no ensino de Química, vinculada a estratégias didáticas adequadas, tem alcançado bons resultados em relação à construção de conceitos científicos e sobre a natureza da Ciência por parte de estudantes. A história da fissão nuclear revela um percurso de questionamentos e contribuições de vários homens e mulheres, ao longo da primeira metade do século XX. O objetivo deste estudo consiste em desenvolver uma abordagem histórica para o ensino da fissão nuclear a partir de uma sequência didática. O presente trabalho pode ser categorizado como uma pesquisa de desenvolvimento, na qual foi produzido o protótipo de uma sequência didática para o ensino da fissão nuclear e demais conceitos científicos relacionados. A implementação da sequência didática desenvolvida no contexto escolar poderá contribuir para a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes.

Palavras-chave: Fissão nuclear; História e Filosofia da Ciência; Sequência didática; Radioatividade; Ensino de Química.

RESUMEN

El uso de la Historia y la Filosofía de la Ciencia en la enseñanza de la Química, ligado a estrategias didácticas adecuadas, ha logrado buenos resultados en relación a la construcción de conceptos científicos y sobre la naturaleza de la Ciencia por parte de los estudiantes. La historia de la fisión nuclear revela un camino de cuestionamientos y aportes de varios hombres y mujeres a lo largo de la primera mitad del siglo XX. El objetivo de este estudio es desarrollar una aproximación histórica a la enseñanza de la fisión nuclear a partir de una secuencia didáctica. El presente trabajo se puede catalogar como una investigación de desarrollo, en la cual se elaboró el prototipo de una secuencia didáctica para la enseñanza de la fisión nuclear y otros conceptos científicos relacionados. La implementación de la secuencia didáctica desarrollada en el contexto escolar puede contribuir a la alfabetización científica y tecnológica de los estudiantes.

Palabras clave: Fisión nuclear; Historia y la Filosofía de la Ciencia; Secuencia didáctica; Radioactividad Enseñanza de Química.