

Identificando dificuldades de estudantes sobre o conteúdo radioatividade: um estudo na Residência Pedagógica de Química

Identifying students' difficulties with radioactivity content: a study in the Chemistry Pedagogical Residency

Identificación de las dificultades de los estudiantes con los contenidos de radiactividad: un estudio en la Residencia Pedagógica de Química

Ryan Guilherme Maurício França da Silva*, Marcela Cordeiro Cavalcante de Oliveira**, Ruth do Nascimento Firme***

Resumo

Este estudo tem como o objetivo de identificar dificuldades de aprendizagem de estudantes do ensino médio sobre o conteúdo Radioatividade no contexto de uma intervenção pedagógica. O estudo foi desenvolvido nas atividades do Programa de Residência Pedagógica, seguiu uma abordagem qualitativa dos dados, foi caracterizado como pesquisa do tipo intervenção pedagógica e contou com a participação de setenta e oito estudantes, distribuídos em duas turmas (turma A e turma B), do segundo ano de ensino médio de uma escola de referência localizada no Recife, PE – Brasil. O estudo seguiu três etapas metodológicas: elaboração da intervenção pedagógica contextualizada (etapa 1); aplicação da intervenção pedagógica (etapa 2); e análise dos dados (etapa 3). Os resultados indicaram dificuldades de aprendizagem dos estudantes sobre o conteúdo radioatividade que necessitam de intervenção pedagógica com vistas à aprendizagem deles, especialmente em tópicos que requerem maior abstração e habilidades matemáticas, como o tempo de meia-vida e a distinção entre fissão e fusão nuclear. Entretanto, a comparação das respostas dos questionários de conhecimentos prévios com os testes conceituais evidenciou uma evolução no entendimento dos temas abordados.

Palavras-chave: Aprendizagem; Química; Radioatividade; Residência Pedagógica; Ensino Médio.

Abstract

This study aims to identify learning difficulties of high school students regarding the content of Radioactivity in the context of a pedagogical intervention. The study was developed in the activities of the Pedagogical Residency

* Ex-bolsista do Programa de Residência Pedagógica (PRP) da CAPES e discente do curso de Licenciatura em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco, Brasil. Endereço para correspondência: Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3202-7091>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8323739250403715>. E-mail: ryan.guilherme@ufrpe.br.

** Mestre Profissional em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Ex-preceptora do Programa de Residência Pedagógica (PRP) da CAPES e Docente da Secretária de Educação e Esportes de Pernambuco (SEE-PE), Recife, Pernambuco, Brasil. Endereço para correspondência: Avenida Afonso Olindense, 1513, Várzea, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 50810-000. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8017-5094>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5223217929822055>. E-mail: marcela.ea@hotmail.com.

*** Doutora em Educação pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Ex-docente orientadora do Programa de Residência Pedagógica (PRP) da CAPES. Atual docente do Programa de Mestrado Profissional de Química em Rede Nacional (PROFQUI), do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências (PPGEC), da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN) e do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Endereço para correspondência: Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-5112>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7234636790850019>. E-mail: ruth.nascimento@ufrpe.br.

Identificando dificuldades de estudantes sobre o conteúdo radioatividade: um estudo na Residência Pedagógica de Química

Program, followed a qualitative approach to the data, was characterized as a pedagogical intervention type research and had the participation of seventy-eight students, distributed in two classes (class A and class B), of the second year of high school of a reference school located in Recife, PE - Brazil. The study followed three methodological stages: elaboration of the contextualized pedagogical intervention (stage 1); application of the pedagogical intervention (stage 2); and data analysis (stage 3). The results indicated students' learning difficulties regarding radioactivity content that require pedagogical intervention with a view to their learning, especially in topics that require greater abstraction and mathematical skills, such as half-life and the distinction between nuclear fission and fusion. However, comparing the responses to the prior knowledge questionnaires with the conceptual tests showed an evolution in the understanding of the topics covered.

Keywords: Learning; Chemistry; Radioactivity; Pedagogical Residency; High School.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo identificar las dificultades de aprendizaje de estudiantes de secundaria respecto al contenido Radiactividad en el contexto de una intervención pedagógica. El estudio se desarrolló en las actividades del Programa de Residencia Pedagógica, siguió un abordaje cualitativo de datos, se caracterizó como investigación de intervención pedagógica y contó con la participación de setenta y ocho estudiantes, distribuidos en dos clases (clase A y clase B), del segundo año de enseñanza media de una escuela de referencia ubicada en Recife, PE - Brasil. El estudio siguió tres etapas metodológicas: elaboración de la intervención pedagógica contextualizada (etapa 1); aplicación de la intervención pedagógica (etapa 2); y análisis de datos (paso 3). Los resultados indicaron que los estudiantes presentaron dificultades de aprendizaje respecto a contenidos de radiactividad, lo que requirió de intervención pedagógica para asegurar su aprendizaje, especialmente en temas que requerían mayor abstracción y habilidades matemáticas, como la vida media y la distinción entre fisión y fusión nuclear. Sin embargo, la comparación de las respuestas a los cuestionarios de conocimientos previos con las pruebas conceptuales mostró una evolución en la comprensión de los temas tratados.

Palabras clave: Aprendiendo; Químico; Radioactividad; Residencia Pedagógica; Escuela secundaria.

Introdução

O Programa de Residência Pedagógica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) tem diferentes objetivos, e dentre outros, destaca-se o de induzir a pesquisa colaborativa e a produção acadêmica com base nas experiências vivenciadas em sala de aula. Portanto, os residentes, ao desenvolverem as atividades em suas escolas-campo, têm a oportunidade de socializar resultados de pesquisas desenvolvidas acerca de suas intervenções pedagógicas, por exemplo. Lopes e Alves (2024, p. 2-3) corroboram com essa discussão ao considerarem “a necessidade de que os cursos de formação devem fornecer o suporte necessário para dar início à construção de uma identidade docente voltada para a pesquisa, [...]”.

Nesse sentido, olhando para o ensino de Química no contexto das atividades do Programa, são percebidas dificuldades de estudantes da educação básica quanto à compreensão de conteúdos químicos devido, na maioria das vezes, ao elevado nível de complexidade e a falta de conhecimentos da Matemática e da Física, tornando a aprendizagem mais desafiadora para eles (Rocha; Vasconcelos, 2016).

Os estudantes podem encontrar dificuldades de aprendizagem relativas ao conteúdo radioatividade, um tema previsto nas orientações curriculares oficiais (Brasil, 2017), dado que esse conteúdo transcende as fronteiras entre disciplinas como a Química e a Física.

Santos *et al.* (2015, p. 1), por exemplo, indicam em seu estudo, “a predominância de concepções equivocadas sobre o conceito de radioatividade pelos estudantes e apontam para a necessidade de discussões sobre temas dessa natureza no ambiente escolar”. Monteiro e Silva (2020, p. 599), por sua vez, destacam que “estudantes costumam confundir irradiação com contaminação radioativa, que objetos irradiados tornam-se fontes de radiação e que a radiação causa mutação e é em todos os casos prejudicial ao homem”.

Além das dificuldades de aprendizagem dos estudantes, vale ressaltar que a forma como os conteúdos são abordados pode influenciar significativamente o desempenho e o interesse deles. Segundo Wartha, Silva e Bejarano (2013), os métodos tradicionais de ensino, centrados na exposição teórica e memorização, podem não favorecer o engajamento necessário para promover uma compreensão dos temas, levando ao desinteresse e à aversão pelo conteúdo, o que dificulta o processo de ensino e aprendizagem (Silva; Pires, 2020).

Nesse sentido, considerando que estudos indicam que estudantes podem ter concepções equivocadas e dificuldades de aprendizagem para o conteúdo radioatividade, este estudo foi conduzido a partir da seguinte questão: quais são as dificuldades de estudantes do ensino médio, no contexto de uma intervenção pedagógica, sobre o conteúdo Radioatividade?

Portanto, tem-se neste estudo o objetivo de identificar dificuldades de estudantes do ensino médio sobre o conteúdo Radioatividade no contexto de uma intervenção pedagógica.

Aspectos Metodológicos

Este estudo foi desenvolvido no contexto das atividades do Programa de Residência Pedagógica de Química, em uma universidade federal pública brasileira, seguiu uma abordagem qualitativa dos dados e foi caracterizado como uma pesquisa do tipo Intervenção pedagógica, dado que este tipo de pesquisa "envolve o planejamento e implementação de intervenções pedagógicas destinadas a promover avanços e melhorias nos processos de aprendizagem [...], seguida pela avaliação dos efeitos dessas intervenções" (Damiani et al., 2013, p. 1).

O percurso metodológico seguido consistiu de três etapas: elaboração da intervenção pedagógica (etapa 1); aplicação da intervenção pedagógica (etapa 2); e análise dos dados (etapa 3).

Etapa 1: Elaboração da intervenção pedagógica contextualizada

Na elaboração da intervenção pedagógica optou-se pelo conteúdo Radioatividade. A escolha por esse conteúdo justifica-se por ser um conteúdo pouco abordado no Ensino Médio, bem como pela importância do entendimento das suas diversas aplicações existentes no cotidiano humano. Sanches (2006) corrobora essa escolha ao destacar que “discutir temas relacionados à radioatividade no contexto escolar é essencial para ajudar os estudantes a desenvolverem uma consciência ética e social em relação ao meio ambiente”. O caráter contextualizado da intervenção pedagógica ocorreu pela ênfase nas articulações entre os conteúdos de radioatividade abordados com o cotidiano dos estudantes.

A intervenção pedagógica elaborada teve cinco momentos: aplicação do questionário de conhecimentos prévios (momento 1) e aulas expositivas dialogadas e resolução de exercícios (momentos 2, 3, 4 e 5). No Quadro 1 apresenta-se a estrutura da intervenção pedagógica.

Quadro 1 - Estrutura da intervenção pedagógica elaborada.

Momento	Atividades
1	Aplicação do questionário referente aos conhecimentos prévios sobre radioatividade.
2	Aula expositiva dialogada e resolução de exercícios: Histórico da radioatividade.
3	Aula expositiva dialogada e resolução de exercícios: Conceitos de radioatividade.
4	Aula expositiva dialogada e resolução de exercícios: Tempo de meia-vida.
5	Aula expositiva dialogada e resolução de exercícios: Fissão e fissão nuclear e suas aplicações.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Inicialmente, no momento 1, os estudantes foram orientados a preencherem um questionário constituído de um caso intitulado "O mistério do laboratório 7" e de cinco questões, os quais estão apresentados no Quadro 2. O objetivo deste momento foi o de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes.

Quadro 2 - Estrutura do questionário referente aos conhecimentos prévios sobre radioatividade.

Caso	Questões
	QUESTÃO 1: Qual é o principal perigo associado à exposição a substâncias radioativas, conforme ilustrado na história do Laboratório 7?
	QUESTÃO 2: Que medidas de segurança os jovens deveriam ter tomado antes de entrar no Laboratório 7, considerando os riscos associados à radioatividade?
	QUESTÃO 3: Quais são os tipos de radiação mencionados na história do Laboratório 7 e como eles podem afetar o corpo humano?

Há muitos anos, em uma cidade próxima a uma antiga instalação industrial, existia um laboratório abandonado chamado "Laboratório 7", famoso por lendas urbanas sobre experimentos perigosos realizados durante a atividade industrial. Um grupo de jovens desafiou os avisos e explorou o laboratório em uma noite chuvosa. Ao adentrar uma sala secreta, encontraram uma máquina antiga e decidiram mexer nos controles, desencadeando uma estranha luz verde e um zumbido sinistro. Expostos a uma radiação desconhecida, os jovens tentaram fugir, mas já era tarde. No dia seguinte, a cidade acordou com notícias alarmantes sobre o acidente no Laboratório 7, enquanto os jovens enfrentavam os efeitos da exposição, tentando entender o que havia acontecido.



QUESTÃO 4: Quais são os possíveis impactos ambientais decorrentes de um acidente radioativo, como o ocorrido no Laboratório 7?

QUESTÃO 5: Observação das imagens



Quais são as possíveis aplicações da radiação vistas nas imagens?

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As aulas expositivas dialogadas concentraram-se, principalmente, nas dificuldades observadas pelos estudantes ao responder ao questionário de conhecimentos prévios. Essa abordagem dialogada foi adotada com o intuito de engajar os estudantes de forma ativa e favorecer a compreensão do conteúdo por meio da interação constante durante as aulas, o que a distingue dos métodos tradicionais, centrados apenas na exposição teórica por parte do professor. Nos momentos 2 e 5, as aulas expositivas dialogadas foram contextualizadas dado que foram considerados aspectos históricos relativos à radioatividade, bem como os impactos da descoberta da radioatividade na ciência e na sociedade e as aplicações dos processos de Fusão e Fissão Nuclear nas usinas nucleares e na produção de energia solar. No momento 2, a aula expositiva dialogada abordou o Histórico da radioatividade, destacando as descobertas científicas e cientistas envolvidos, como Henri Becquerel, Marie Curie e Ernest Rutherford. A partir dessas informações, uma discussão foi estimulada sobre a evolução do conhecimento da radioatividade, a identificação dos elementos radioativos e suas propriedades, além de um debate sobre os impactos dessa descoberta na ciência e na sociedade. A aula expositiva dialogada do momento 3, abordou Conceitos de radioatividade, os quais foram: partículas alfa, beta e raios gama, suas origens e características, os processos de emissão dessas partículas, como a desintegração radioativa, e a análise de suas diferenças em termos de massa, carga e poder de penetração. Neste momento, promoveu-se uma análise crítica com os estudantes

sobre as diferenças em termos de massa, carga e poder de penetração, incentivando-os a questionarem e refletirem sobre o funcionamento desses processos. No momento 4, a aula expositiva dialogada abordou o conceito do Tempo de meia-vida, explicando sua definição e importância na compreensão da radioatividade e do decaimento de núcleos instáveis. Durante essa aula, o tempo de meia-vida foi discutido em suas aplicações práticas, como na datação por carbono e na farmacologia, com os estudantes participando ativamente da discussão. E no momento 5, a aula expositiva dialogada abordou os processos de Fissão e Fissão nuclear e suas aplicações, abordando suas definições e as diferenças fundamentais entre os dois processos. Esta aula envolveu uma análise das aplicações desses processos, nas usinas nucleares e na produção de energia solar, com os estudantes sendo convidados a refletirem sobre os benefícios e os desafios éticos e ambientais de tais aplicações.

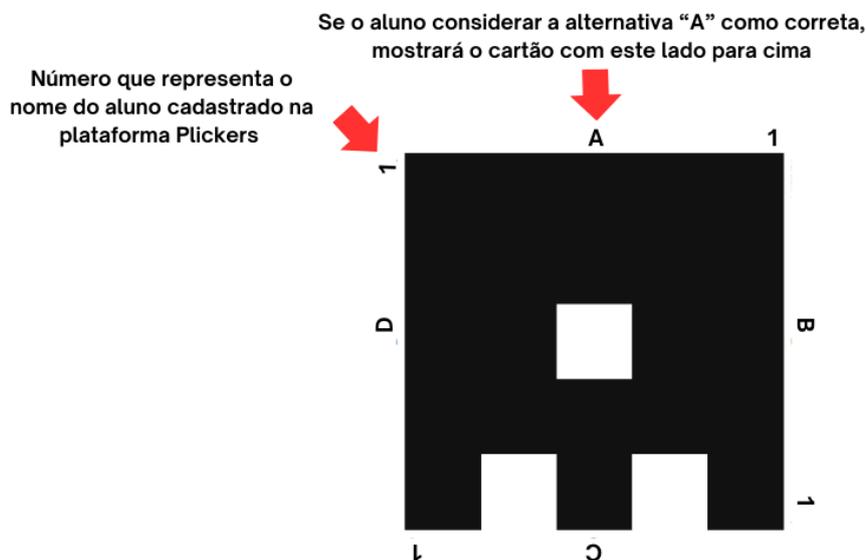
Ao final de cada aula expositiva dialogada, foi aplicado com os estudantes um teste conceitual (TC), no total de quatro, com o objetivo de avaliar a compreensão dos estudantes sobre os conteúdos abordados. As questões dos testes conceituais foram construídas a partir do conteúdo abordado nas respectivas aulas expositivas dialogadas, seguindo os tópicos propostos pela BNCC, que compreende as habilidades de "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, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica" (Brasil, 2017, p. 116).

Nos testes conceituais foi utilizado o aplicativo *Plickers*. Segundo Bezerra, Souza Junior e Lima (2025, p. 2), no ensino de Ciências da Natureza, "o uso de tecnologias digitais, como simuladores, ferramentas de visualização, e plataformas de aprendizagem on line" oportunizam o enriquecimento do ensino e a compreensão dos fenômenos naturais. Nesse sentido, com o uso do aplicativo *Plickers*, os professores podem utilizar questões de múltipla escolha para avaliar os estudantes, coletando os resultados de cada pergunta instantaneamente. Isso permite, por exemplo, identificar quem acertou e errou, a alternativa mais escolhida pelos estudantes que erraram e a porcentagem de acertos da turma para cada questão. Além disso, estudos sobre o aplicativo destacam suas vantagens, como praticidade, rapidez e facilidade de uso, sem a necessidade de grandes estruturas (Marinho; Nicot; Sales, 2020).

Para responder aos testes conceituais, os estudantes receberam os cartões de resposta. O cartão de resposta (Figura 1) é um cartão onde cada lado representa as alternativas A, B, C e

D e o estudante indica a alternativa correta no lado superior. É importante observar que cada questão pode conter no máximo 4 itens (A, B, C e D), pois esse é o limite permitido pelo cartão resposta do *Plickers*.

Figura 1 - Cartão entregue para cada aluno para a resolução dos testes conceituais.

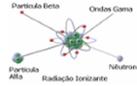


Fonte: Adaptado pelos autores a partir da plataforma *Plickes* (2024).

As respostas dos estudantes aos testes conceituais foram armazenadas na plataforma do aplicativo *Plickers*. Esses dados foram transformados em percentuais de acertos, expressados em forma de gráficos.

As questões constitutivas dos quatro testes conceituais aplicados com os estudantes e os respectivos itens corretos destacados, estão apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Figura 2 - Teste conceitual 1 (TC1) referente ao tópico Histórico da Radioatividade.

<p>1 Quem descobriu a radioatividade em 1896?</p>  <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Marie Curie <input type="checkbox"/> Wilhelm Conrad Röntgen <input type="checkbox"/> Ernest Rutherford <input type="checkbox"/> Henri Becquerel 	<p>3 Quais são os três principais tipos de radiação emitidos por substâncias radioativas?</p>  <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> A Emissão, absorção e refração <input type="checkbox"/> B Primário, secundário e terciário <input type="checkbox"/> C Delta, beta e gama <input checked="" type="checkbox"/> D Alfa, beta e gama
<p>2 Quais elementos foram isolados por Marie e Pierre Curie a partir do minério pechblenda?</p>  <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> A Mercúrio e Chumbo <input checked="" type="checkbox"/> B Polônio e Rádio <input type="checkbox"/> C Urânio e Tório <input type="checkbox"/> D Ouro e Prata 	<p>4 Quem identificou a existência das partículas alfa e beta?</p>  <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> A Ernest Rutherford <input type="checkbox"/> B Wilhelm Conrad Röntgen <input type="checkbox"/> C Henri Becquerel <input type="checkbox"/> D Marie Curie
	<p>5 Qual cientista descobriu os raios-X?</p>  <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> A Marie Curie <input type="checkbox"/> B Paul Ulrich Villard <input checked="" type="checkbox"/> C Wilhelm Conrad Röntgen <input type="checkbox"/> D Ernest Rutherford

Fonte: Adaptado pelos autores a partir da plataforma *Plickes* (2024).

Figura 3 - Teste conceitual 2 (TC2) referente ao tópico Conceitos de Radioatividade.

Identificando dificuldades de estudantes sobre o conteúdo radioatividade: um estudo na Residência Pedagógica de Química

1 Quais as formas de emissão da radiação?



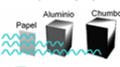
Partículas e ondas
 Nêutrons e elétrons
 Cátions e ânions
 Cátodo e ânodo

2 Qual das seguintes afirmações é verdadeira sobre o Experimento de Rutherford?



A As radiações alfa (α) sofriam desvio no sentido do polo positivo do campo eletromagnético.
 B As radiações beta (β) são partículas com carga elétrica positiva e possuem massa.
 C As radiações gama (γ) são partículas de carga negativa e sofrem desvios ao serem submetidas a um campo eletromagnético.
 A radiação gama é uma radiação eletromagnética sem carga e sem massa, não sofrendo desvios ao ser submetida a um campo eletromagnético.

3 Qual a ordem correta dos tipos de radiações em relação ao nível de penetração para os seguintes objetos abaixo?



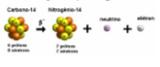
Alfa, beta e gama
 Beta, gama e alfa
 Gama, alfa e beta
 Alfa, gama e beta

4 O que acontece com o número de massa e com o número atômico, respectivamente, de um núcleo instável se ele emite uma partícula alfa?



A O número de massa aumenta e o número atômico diminui
 B O número de massa e o número atômico permanecem inalterados
 C O número de massa diminui e o número atômico aumenta
 Tanto o número de massa quanto o número atômico diminuem

5 O que acontece com o número de massa e com o número atômico, respectivamente, de um núcleo instável se ele emite uma partícula beta?

$${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\beta$$


A Sem alteração e diminui uma unidade
 B Diminui uma unidade e sem alteração
 Sem alteração e aumenta uma unidade
 D Aumenta uma unidade e sem alteração

Fonte: Adaptado pelos autores a partir da plataforma *Plickes* (2024).

Figura 4 - Teste conceitual 3 (TC3) referente ao tópico de Tempo de meia-vida.

1 O que é o tempo de meia vida?



É o tempo que leva para uma amostra radioativa reduzir pela metade
 É o tempo que leva para uma amostra radioativa reduzir por completo
 É o tempo que leva para uma amostra ionizada reduzir pela metade
 É o tempo que leva para uma amostra ionizada reduzir por completo

2 Qual a área científica que usa como principal aplicação o tempo de meia-vida para seus estudos?



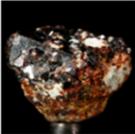
A Antropologia
 Arqueologia
 B Economia
 D Biblioteconomia

3 Quais os materiais radioativos encontrados nos artefatos arqueológicos?



U-238 e C-14
 U-241 e C-15
 U-236 e C-12
 U-238 e C-12

4 Se a meia-vida de um elemento radioativo é de 10 anos e começamos com 100g, quanto restará após 20 anos?



A 75g
 B 50g
 C 100g
 25g

5 O U-238 e o C-14 são utilizados, respectivamente, para datação de quais objetos?



A Rochas e materiais inorgânicos
 B Metais e materiais físicos
 Rochas e materiais orgânicos
 D Metais e materiais químicos

Fonte: Adaptado pelos autores a partir da plataforma *Plickes* (2024).

Figura 5 - Teste conceitual 4 (TC4) referente ao tópico de Aplicações da Radioatividade.

1 Qual é o processo nuclear responsável pela geração de energia nas estrelas, como o Sol?



A Fissão nuclear
 Fusão nuclear
 C Reação de desintegração
 D Decaimento radioativo

2 Qual é o radiofármaco mais comumente utilizado em exames de PET-CT para detecção e monitoramento de câncer?



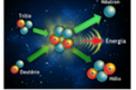
Fluorodesoxiglicose (18-FDG)
 Fluorodesoxiglicose (15-FDG)
 Iododesoxiglicose (18-IDG)
 Iododesoxiglicose (15-IDG)

3 Qual é a principal vantagem da preservação de alimentos por irradiação usando cobalto-60?



A Aumento das perdas pós-colheita
 Eliminação de microorganismos e pragas
 C Aumento do sabor dos alimentos
 D Redução da vida útil dos alimentos

4 Qual é o principal desafio técnico associado à implementação da fusão nuclear como fonte de energia comercialmente viável?



A Dificuldade na obtenção de matéria-prima
 Dificuldade de controlar a reação nuclear
 C Alto custo de instalação dos reatores de fusão
 D Baixa quantidade de energia produzida

5 Quais dos acidentes nucleares obteve uma maior magnitude quanto ao raio de ação?



A Three Mile Island
 B Césio-137
 Chernobyl
 D Fukushima

Fonte: Adaptado pelos autores a partir da plataforma *Plickes* (2024).

Etapa 2: Aplicação da intervenção pedagógica

A intervenção pedagógica foi aplicada na disciplina de Química em uma Escola Estadual de Referência situada em Recife, Pernambuco - Brasil, em duas turmas regulares do segundo ano do ensino médio, identificadas como turma A e turma B, por um dos autores deste estudo que participava como residente bolsista no Programa de Residência Pedagógica de uma universidade pública federal brasileira. Foram consideradas as duas turmas, A e B, para possibilitar a produção de uma maior quantidade de dados.

Ao todo, considerando as duas turmas, participaram do estudo setenta e oito estudantes. Os cuidados com as questões éticas envolveram: a informação prévia sobre a pesquisa aos estudantes, os quais tiveram a opção de participar ou não da intervenção pedagógica; e a não identificação de seus respectivos nomes e imagens.

Etapa 3: Análise dos dados

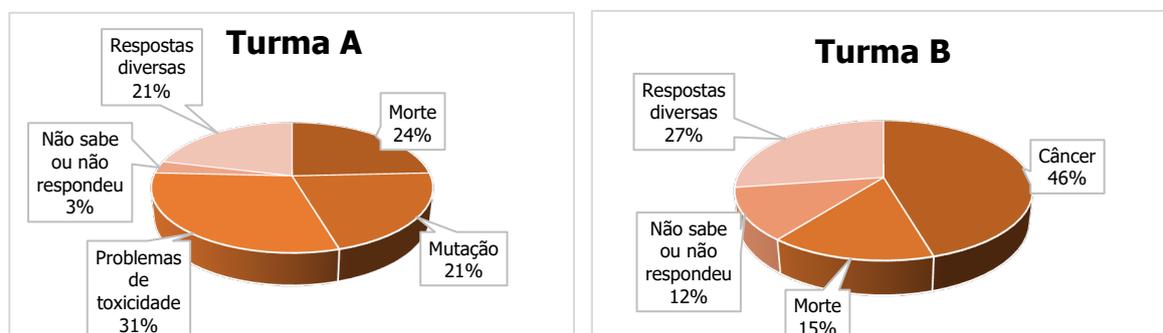
Os dados analisados neste estudo foram as respostas individuais dos estudantes ao questionário de conhecimentos prévios e aos testes conceituais, organizadas em percentuais e expressas em gráficos.

Resultados

Inicialmente, são analisadas as respostas dos estudantes às questões do questionário de conhecimentos prévios, e em seguida, as análises estão voltadas para as respostas dos estudantes aos TC.

Nesse sentido, quanto ao principal perigo associado à exposição a substâncias radioativas, como ocorrido no caso do Laboratório 7 (questão 1 do questionário de conhecimentos prévios), os percentuais das respostas dos estudantes da turma A e da turma B estão ilustrados, respectivamente, no gráfico 7.

Figura 7 – Percentuais das respostas dos estudantes para a questão 1



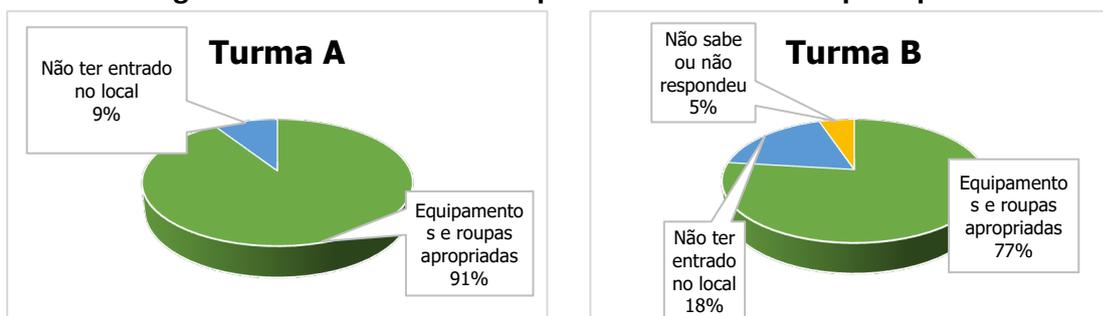
Fonte: Elaboração própria (2024).

A partir dos dados ilustrados na figura 7, pode-se dizer que a maioria dos estudantes (31%) da turma A indicou, como principal perigo associado à exposição a substâncias

radioativas, problemas de toxicidade e a maioria dos estudantes (46%) da turma B indicou o câncer. Entretanto, ressalta-se a diferença entre os efeitos agudos da toxicidade química e os efeitos a longo prazo da exposição à radiação, como o desenvolvimento de câncer (National Research Council, 2006). Nesse sentido, a não compreensão da diferença entre os efeitos imediatos e de longo prazo da exposição a substâncias radioativas pode se constituir como uma dificuldade dos estudantes para aprendizagem do conteúdo radioatividade.

Em relação às medidas de segurança que os jovens deveriam ter tomado antes de entrar no Laboratório 7, considerando os riscos associados à radioatividade (questão 2 do questionário de conhecimentos prévios), os percentuais relativos às respostas dos estudantes estão ilustrados na figura 8.

Figura 8 - Percentuais das respostas dos estudantes para questão 2



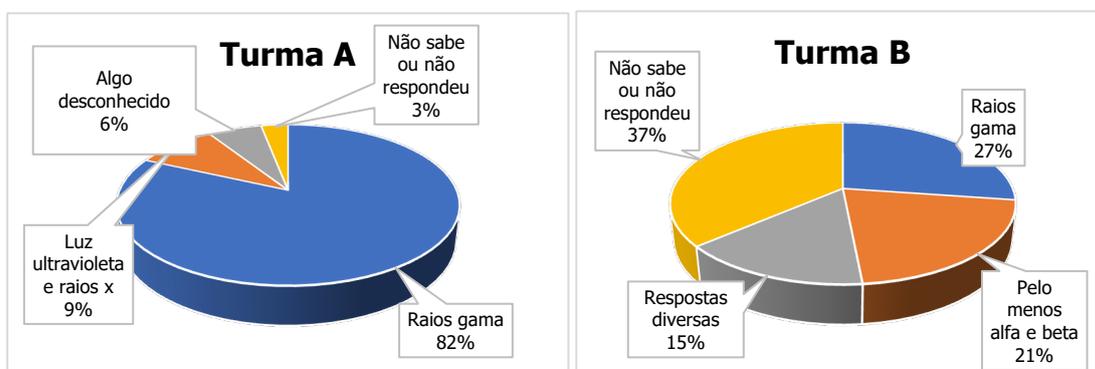
Fonte: Elaboração própria (2024).

Para a maioria dos estudantes (91%) da turma A, as medidas de segurança para os riscos associados à radioatividade estão relacionadas aos equipamentos e roupas apropriadas. Os estudantes da turma B, em sua maioria (77%), também indicaram equipamentos e roupas apropriadas. Além disso, 5% dos estudantes desta turma não souberam ou não responderam. A ênfase excessiva no uso de roupas apropriadas sugere que os estudantes não compreendem a abrangência das medidas de segurança radiológica, que incluem práticas como controle de tempo de exposição e monitoramento de radiação (Araújo; Ferreira, 2015). Além disso, pode haver falta de conscientização por parte deles de que a proteção contra radiação envolve múltiplos aspectos, como avaliação da fonte e distância segura. Portanto, as respostas dos estudantes das duas turmas, inclusive dos 5% da turma B que não responderam a questão, apontam para uma lacuna no conhecimento sobre medidas de segurança para evitar riscos associados à radioatividade.

Quanto aos tipos de radiação mencionados no caso do Laboratório 7 e como eles podem afetar o corpo humano (questão 3 do questionário de conhecimentos prévios), a maioria dos

estudantes (82%) da turma A respondeu raios gama e a maioria dos estudantes (77%) da turma B não soube responder. Adicionalmente, na turma B, 27% responderam raios gama e 21% deles indicaram radiação alfa e beta, conforme estão ilustrados na figura 9. A confusão entre os diferentes tipos de radiação alfa, beta e gama sugere que os estudantes não entendem as características específicas de cada um desses tipos de radiação. A radiação alfa, por exemplo, é menos penetrante e pode ser bloqueada por uma simples folha de papel, enquanto a radiação beta penetra mais, porém menos intensa que os raios gama (Oliveira de Melo *et al.*, 2023). A não compreensão de tais características pode resultar em percepções errôneas sobre os riscos associados a cada tipo de radiação, prejudicando a capacidade dos alunos de avaliar corretamente as situações de exposição.

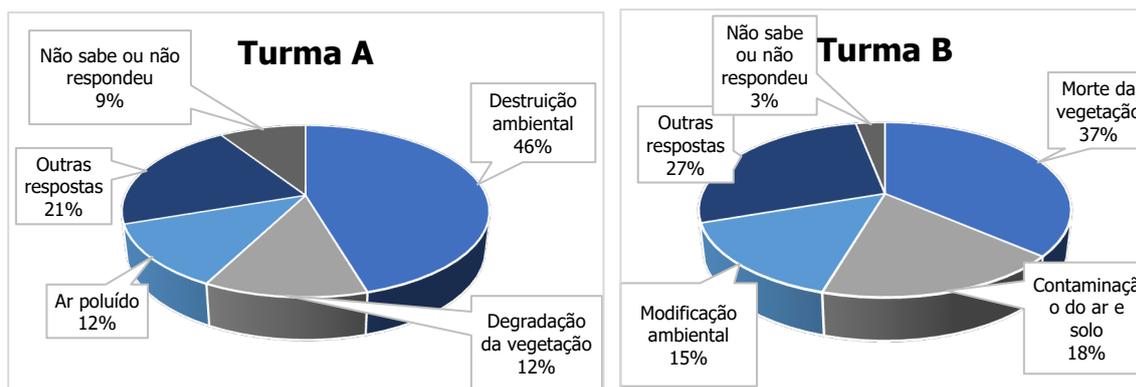
Figura 9 - Percentuais das respostas dos estudantes para a questão 3



Fonte: Elaboração própria (2024).

Para a questão 4 do questionário de conhecimentos prévios, relativa aos possíveis impactos ambientais decorrentes de um acidente radioativo, como o ocorrido no Laboratório 7, os percentuais das respostas dos estudantes estão ilustrados na figura 10. De acordo com os gráficos da figura 10, a maioria dos estudantes (46%) da turma A respondeu a destruição ambiental como impacto decorrente de acidentes radioativos. Os estudantes da turma B, por sua vez, responderam, em sua maioria (37%), a morte da vegetação. Ainda sobre a turma B, a contaminação do ar e do solo como possível impacto foi mencionada por 18% dos estudantes.

Figura 10 - Percentuais das respostas dos estudantes para a questão 4

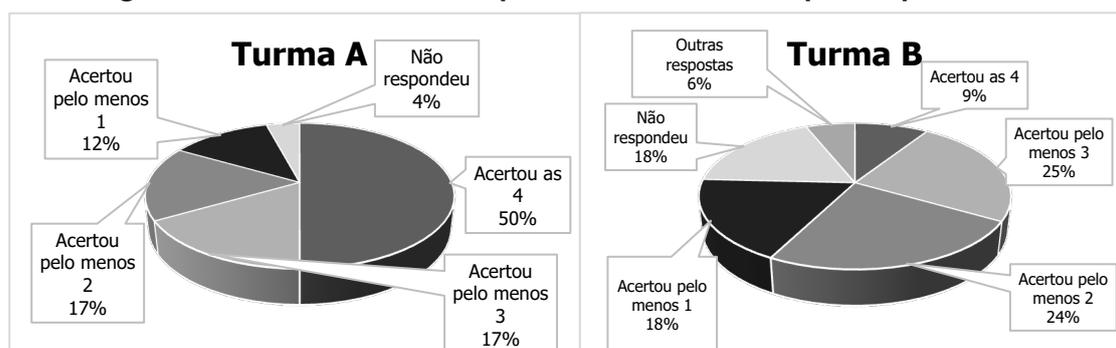


Fonte: Elaboração própria (2024).

Embora a destruição e a modificação ambiental indicadas estejam associadas aos acidentes radioativos, os estudantes expressam uma compreensão restrita dos efeitos mais amplos da radioatividade, como a contaminação da fauna e da flora, a alteração dos ciclos ecológicos e os impactos na saúde pública (Lipsky, 2013). Esses resultados ressaltam a necessidade de aprofundar o entendimento deles sobre os impactos de acidentes radioativos, enfatizando a interconexão entre a destruição ambiental e suas consequências para os ecossistemas e a saúde da população.

E em relação às possíveis aplicações da radiação, com base nas imagens (questão 5 do questionário de conhecimentos prévios), 50% dos estudantes da turma A e 9% da turma B indicaram as aplicações relativas às quatro imagens, conforme ilustrado na figura 11.

Figura 11 - Percentuais das respostas dos estudantes para a questão 5



Fonte: Elaboração própria (2024).

Sobre essa questão, vale ressaltar que as figuras da questão 5 representavam aplicações da radioatividade tais como usinas nucleares, tratamentos de câncer, técnicas de preservação de alimentos e dispositivos de segurança, como detectores de fumaça. Cada uma dessas aplicações desempenha um papel importante no dia a dia. Por exemplo, a energia nuclear é uma fonte significativa de eletricidade em muitos países (Brasil, 2020), a terapia radiológica é

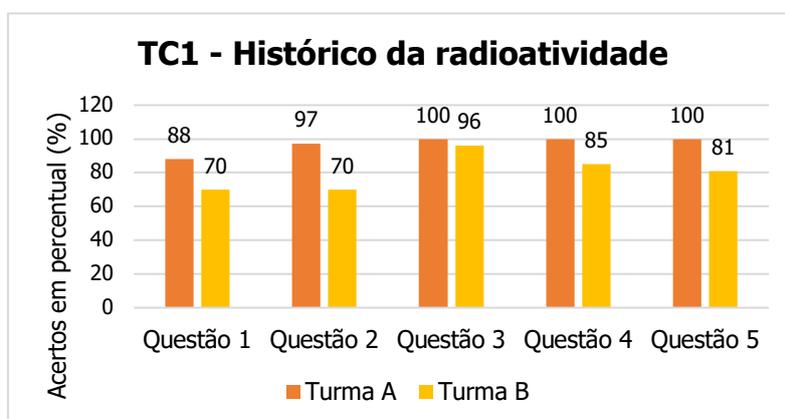
amplamente utilizada no tratamento de doenças como o câncer (Almeida; Lobo, 2020), a irradiação de alimentos contribui para aumentar a vida útil e a segurança dos produtos, e os detectores de fumaça, que utilizam o radioisótopo Amerício-241, são vitais para a segurança doméstica, pois detectam fumaça e alertam os moradores sobre incêndios (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

A partir das respostas dos estudantes, tanto da turma A quanto da turma B, foram identificados alguns erros conceituais, como, por exemplo, a associação dos principais danos da exposição a substâncias radioativas com a toxicidade e os efeitos da radiação, evidenciando a necessidade de esclarecer que toxicidade se relaciona a substâncias químicas, enquanto os efeitos da radiação incluem danos celulares (Streffer, 2000).

Seguida das análises dos conhecimentos prévios dos estudantes, neste momento deste estudo, são analisados os resultados relativos aos quatro testes conceituais (TC1, TC2, TC3 e TC4) aplicados às turmas A e B. Para responder as questões constitutivas de cada TC os estudantes usaram o aplicativo *Plickes*. Vale ressaltar que os TC foram aplicados após cada uma das aulas expositivas dialogadas.

Nesse sentido, o TC1, constitutivo de cinco questões (relativas à descoberta da radioatividade - Questão 1, aos elementos isolados por Marie e Pierre Curie a partir do minério pechblenda - Questão 2, aos três tipos de radiação emitidas por substâncias radioativas - Questão 3, a quem identificou a existência das partículas alfa e beta - Questão 4 e ao cientista que identificou os raios-X - Questão 5), foi aplicado após a aula expositiva dialogada e resolução de exercícios acerca do Histórico da radioatividade. Os percentuais de acertos dos estudantes das turmas A e B para o TC1 estão ilustrados na figura 12.

Figura 12. Percentual de acertos do TC1 referente ao tópico Histórico da radioatividade



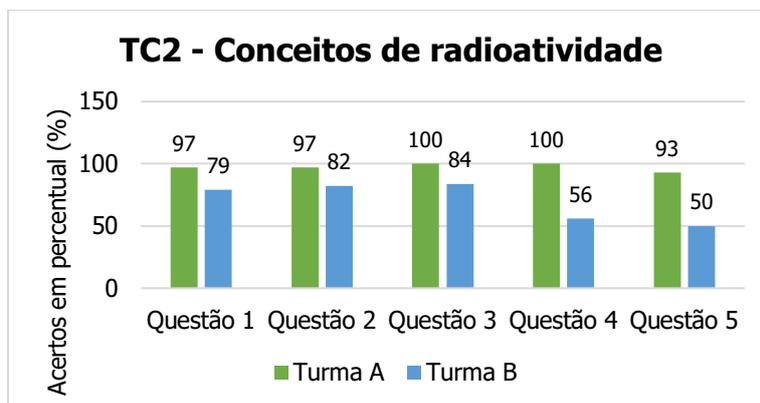
Fonte: Elaboração própria (2024)

De acordo com os dados da figura 12 observa-se que a questão 1, relativa à descoberta da radioatividade, foi a que os estudantes da turma A e da turma B tiveram menores percentuais de acertos, 88% e 70%, respectivamente, quando comparados com os demais. Durante a aula expositiva dialogada sobre o histórico da radioatividade foi abordada uma linha do tempo com todas as datas fundamentais para o entendimento histórico-experimental da descoberta radioativa. Entretanto os estudantes podem ter confundido dois marcos teóricos: experimento envolvendo raios catódicos de Wilhelm Conrad Röntgen em 1895 e o experimento envolvendo sais de urânio de Henri Becquerel e descoberta acidental da radioatividade em 1896. A questão 2, relacionada ao isolamento dos elementos, foi outra para a qual os estudantes da turma B apresentaram menor percentual de acerto. Nesse sentido, vale ressaltar que a investigação foi iniciada a partir do urânio e tório havendo, assim, um conflito acerca das ordens de acontecimentos. Marie e Pierre Curie realizaram suas pesquisas em pechblenda, um minério que contém urânio, e foram pioneiros na descoberta de novos elementos radioativos, como o polônio e o rádio. Essa linha do tempo pode se tornar confusa, especialmente quando se considera que a descoberta de Henri Becquerel sobre a radioatividade ocorreu antes, em 1896, ao investigar os sais de urânio. Portanto, a compreensão dos estudantes da sequência dos eventos é crucial para o entendimento do desenvolvimento histórico da radioatividade (Cordeiro; Peduzzi, 2011).

O TC2, constitutivo de cinco questões (relativas às formas de emissão da radiação - Questão 1, às afirmações acerca do experimento de Rutherford - Questão 2, ao nível de penetrabilidade das radiações - Questão 3, à instabilidade do núcleo das partículas alfa - Questão 4 e à instabilidade do núcleo das partículas beta - Questão 5), foi aplicado após a aula expositiva dialogada e resolução de exercícios acerca dos Conceitos de radioatividade.

No gráfico ilustrado na figura 13 estão apresentados os percentuais de acertos dos estudantes das turmas A e B para o TC2. Nele é evidenciada uma dificuldade dos estudantes da turma B acerca das questões 4 e 5. Na segunda aula expositiva dialogada que abordou os conceitos de radioatividade, houve a necessidade de revisar os conteúdos de número atômico e número de massa, dado que os estudantes da turma B expressaram dificuldades para entender e associar esses conteúdos com o de reações nucleares.

Figura 13 - Percentual de acertos do TC2 referente ao tópico de Conceitos de radioatividade

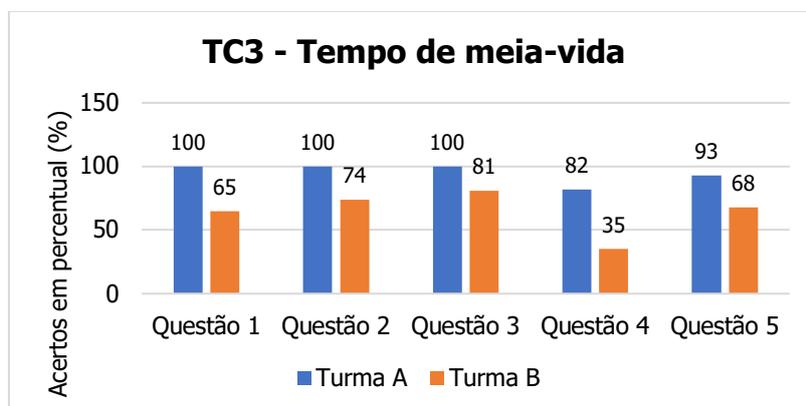


Fonte: Elaboração própria (2024)

Segundo Mourão e Oliveira (2018), quando um núcleo atômico instável emite uma partícula alfa ocorre uma transmutação em outro núcleo atômico com número atômico de duas unidades menor e número de massa 4 unidades menor. Portanto, pode-se dizer que as dificuldades dos estudantes da turma B se refletiram na resolução das questões 4 e 5 ao exigirem tal associação e, por conseguinte, o percentual de acertos foi inferior ao esperado para as respectivas questões.

O TC3, constitutivo de cinco questões (relativas à definição de tempo de meia-vida – Questão 1, à principal área científica que aplica os conhecimentos do cálculo do tempo de meia-vida – Questão 2, aos principais materiais radioativos encontrados em artefatos antigos – Questão 3, aos cálculos envolvendo a meia-vida de elementos radioativos – Questão 4, e à datação de objetos por U-238 e C-14 – Questão 5), foi aplicado após a aula expositiva dialogada e resolução de exercícios acerca do Tempo de meia-vida. Os percentuais de acertos dos estudantes das turmas A e B para o TC3 estão apresentados na figura 14.

Figura 14 - Percentual de acertos do TC3 referente ao tópico de Tempo de meia-vida

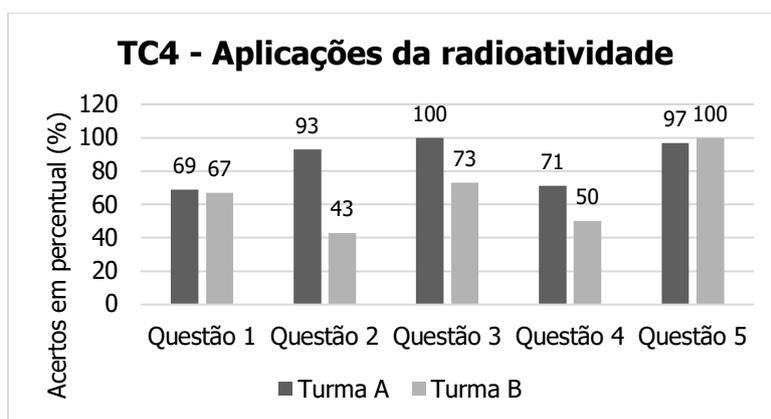


Fonte: Elaboração própria (2024)

Ao analisar o gráfico ilustrado na figura 14, observa-se que, de modo geral, os estudantes das duas turmas apresentaram menores percentuais de acertos na questão 4, relativa ao número de massa e ao número atômico quando da emissão de partícula alfa. Vale ressaltar que cada isótopo tem um tempo de meia-vida específico e o decaimento radioativo é um processo estocástico, ou seja, não se pode prever a desintegração de núcleos individuais, apenas a fração média de átomos que se desintegra em um intervalo de tempo (Okuno; Yoshimura, 2010). A meia-vida ($t_{1/2}$) é o tempo necessário para que metade dos átomos de uma amostra se desintegre, exigindo uma compreensão de cálculos matemáticos (funções exponenciais) e a habilidade de manipular números de massa e atômicos. Por envolver associação da temática com cálculos, calcular a meia-vida de elementos radioativos e sua relação com o número de massa e número atômico, os estudantes tiveram dificuldades.

O TC4, constitutivo de cinco questões (relativas ao processo nuclear evidenciados no sol - Questão 1, aos radiofármacos usados no monitoramento do câncer - Questão 2, à conservação de alimentos utilizando cobalto-60 – Questão 3, aos desafios técnicos para uso da fusão nuclear para a promoção energética – Questão 4, e aos acidentes nucleares e suas magnitudes – Questão 5), foi aplicado após a aula expositiva dialogada e resolução de exercícios acerca da Fissão e fissão nuclear e suas aplicações. Os percentuais de acertos dos estudantes das turmas A e B para o TC4 estão apresentados na figura 15.

Figura 15 - Percentual de acertos do TC4 referente ao tópico de aplicações de radioatividade



Fonte: Elaboração própria (2024).

Comparando os percentuais apresentados pelas duas turmas na figura 15, destacam-se os obtidos na questão 5 que envolvia os acidentes nucleares. Para as demais questões de TC4, os estudantes da turma A expressaram menor percentual de acerto para a questão 1, relativa ao processo nuclear de produção de energia nas estrelas. Em uma estrela, o processo de fusão

nuclear converte hidrogênio em hélio, onde dois prótons se fundem para formar uma partícula alfa (um núcleo de hélio), liberando dois pósitrons, dois neutrinos e uma enorme quantidade de energia, entretanto, na Terra, a fusão nuclear é bastante difícil de ser realizada, ao passo que a fissão nuclear é um processo muito mais acessível (Wiltgen, 1998). Os estudantes da turma B, por outro lado, obtiveram menor percentual na questão 2, relacionada aos fármacos utilizados nos testes de diagnóstico e tratamento do câncer. Destaca-se que esses testes ajudam na visualização de áreas específicas do corpo, permitindo o monitoramento do câncer e a avaliação da resposta a tratamentos (Araújo; Ferreira, 2015).

A partir das análises dos percentuais de acertos dos estudantes relativos a determinadas questões dos testes conceituais, pôde-se identificar conteúdos da radioatividade para os quais os estudantes das duas turmas A e B expressaram dificuldades de compreensão, ao longo do desenvolvimento da intervenção pedagógica. Por exemplo, nos estudantes da turma A, embora tenham demonstrado maiores percentuais de acertos em alguns tópicos, foram identificadas dificuldades em diferenciar conceitos de fissão e fusão nuclear e em compreender aplicações específicas da radioatividade na saúde e no meio ambiente. As dificuldades identificadas nos estudantes da turma B, por sua vez, foram mais expressivas na compreensão histórica e conceitual da radioatividade, além de questões envolvendo cálculos e associações complexas, como o tempo de meia-vida.

Considerações finais

Este estudo teve o objetivo de identificar dificuldades de estudantes do ensino médio sobre o conteúdo Radioatividade no contexto de uma intervenção pedagógica.

A análise dos resultados relativos ao questionário de conhecimentos prévios e aos testes conceituais indicou dificuldades dos estudantes das duas turmas sobre o conteúdo radioatividade, como, por exemplo, diferenciar conceitos de fissão e fusão nuclear, compreender aplicações específicas da radioatividade na saúde e no meio ambiente e questões envolvendo cálculos e associações complexas, como o tempo de meia-vida.

Esse resultado evidenciou erros conceituais que necessitam de intervenção pedagógica com vistas à aprendizagem dos estudantes, especialmente em tópicos que requerem maior abstração e habilidades matemáticas, como o tempo de meia-vida e a distinção entre fissão e fusão nuclear. Entretanto, a comparação das respostas dos questionários de conhecimentos prévios com os testes conceituais evidenciou uma evolução no entendimento dos temas

abordados. Esta evolução evidencia a contribuição do Programa de Residência Pedagógica ao processo de aprendizagem de estudantes da educação básica.

Nesse processo, observou-se que a turma A apresentou maiores percentuais de desempenho nos testes conceituais quando comparada com a turma B. Embora essa análise não tenha sido objetivo deste estudo, a diferença entre o desempenho das turmas pode ser explicada pelo maior engajamento dos estudantes da turma A.

Adicionalmente, ressalta-se que a utilização do aplicativo *Plickers* na realização dos testes conceituais revelou um cenário de engajamento e participação dos estudantes. Nesse sentido, as potencialidades deste aplicativo para a abordagem dos conteúdos químicos como instrumento de avaliação, por exemplo, poderiam se constituir como agenda de pesquisas futuras.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

ALMEIDA, R.; LOBO, M. O papel do técnico superior de radiologia em contexto de pandemia COVID-19: Uma revisão da literatura. **ROENTGEN - Revista Científica das Técnicas Radiológicas**, v. 1, n. 1, p. 28-39, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.46885/roentgen.v1i1.14>. Acesso em: 30 de set. 2024.

ARAÚJO, A. L.; FERREIRA, K. R. A importância do uso de protetores solares na prevenção do fotoenvelhecimento e câncer de pele. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 2-8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.16891/257>. Acesso em: 30 de set. 2024.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BEZERRA, F. I. A.; SOUZA JUNIOR, A.; LIMA, R. P. de. Integração de tecnologias digitais no ensino de ciências da natureza: uma revisão bibliográfica sobre os desafios e oportunidades na formação de professores. **Revista Ensino em Debate**, v. 5, p. e2025011, 2025. DOI: 10.21439/2965-6753.v5.e2025011. Disponível em: <https://revistarede.ifce.edu.br/ojs/index.php/rede/article/view/87>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília, DF: EPE/MME, 2020.

BRASIL. Resolução CNE/CP Nº 2, que institui a Base Nacional Comum Curricular. Ministério da Educação. Brasília, DF, 2017.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Revista Brasileira De Ensino De Física**, 33(3), p. 3601-1-11, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000300019>. Acesso em: 02 de mar. 2025.

DAMIANI, M. F.; ROCHEFORT, R. S.; CASTRO, R. F.; DE DARIZ, M. R.; PINHEIRO, S. S. Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. **Cadernos De Educação**, (45), p. 57-67, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.15210/caduc.v0i45.3822>. Acesso em: 30 de set. 2024.

LIPSCY, P.; KUSHIDA, K.; INCERTI, T. The Fukushima disaster and Japan's nuclear plant vulnerability in comparative perspective. **Environ Science Technology**, 47(12), p. 6082-6088, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es4004813>. Acesso em: 30 de set. 2024.

LOPES, K. M. M.; ALVES, L. A. A importância da pesquisa científica nos cursos de formação inicial de professores de Ciências da Natureza e Matemática. **Revista Ensino em Debate**, v. 2, p. e2024021, 2024. DOI: 10.21439/2965-6753.v2.e2024021. Disponível em: <https://revistarede.ifce.edu.br/ojs/index.php/rede/article/view/51>. Acesso em: 21 abr. 2025.

MARINHO, K. K. de O.; NICOT, Y. E.; SALES, E. R. de. Percepção de professores de matemática em formação inicial acerca do uso do aplicativo Plickers como ferramenta avaliativa de aprendizagem. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 362-381, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26571/reamec.v7i3.9359>. Acesso em: 15 de out. 2024.

MONTEIRO, M. D. da S.; da SILVA, S. A. Sequência de ensino e aprendizagem sobre radioatividade pautada na perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS). **Dialogia**, (36), p. 595-609, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/dialogia.n36.18314>. Acesso em: 30 de set. 2024.

MOURÃO, A. P.; OLIVEIRA, F. A. de. **Fundamentos de radiologia e imagem**. Difusão Editora, 2018. Disponível em: https://books.google.pt/books?hl=ptPT&lr=&id=ZDjnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP5&dq=revistas+sobre+radiologia&ots=ulqv3QmrhG&sig=n9PI9snNTppDJ1n2RKv7rq_WSwg&redir_esc=y#v=onepage&q=revistas%20sobre%20radiologia&f=false. Acesso em: 30 de mar. 2024.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2**. Washington, DC: The National Academies Press, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/11340>. Acesso em: 30 de set. 2024.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. Física das radiações. Editora Oficina de Textos, 2010. Disponível em: http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/deg_418789.pdf. Acesso em: 30 de mar. 2024.

OLIVEIRA DE MELO, M.; PEREIRA SILVA, G.; CORDEIRO DE ALMEIDA, T.; GUIMARÃES CERQUEIRA, F. E.; DE ASSIS MOURA, F.; FERNANDES DE FERNANDES, I. Vilã ou heroína? Os dois lados da radiação. Villain or heroine? The two sides of radiation. **Caderno de Física da UEFS**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 2401.1-9, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/cadfis.v19i2.9255>. Acesso em: 10 out. 2024.

ROCHA, J. S.; VASCONCELOS, T. C. Dificuldades de aprendizagem no ensino de química: algumas reflexões. In: **Encontro Nacional de Ensino de Química**, Florianópolis, 2016, 18. Disponível em: <https://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

SANCHES, M. B. **A física moderna e contemporânea no ensino médio: qual sua presença em sala de aula?** Dissertação (Mestrado em Educação para a ciência e o ensino de matemática) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, p.121. 2006. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/4510>. Acesso em: 10 out. 2024.

SANTOS, J. P. dos; SÁ, L. P.; PINTO, J. G. R.; SILVA, L. N. C.; NETO, V. F. de S.; PASSOS, C. R. S. Concepções de estudantes do ensino médio sobre radioatividade. In: **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindóia SP, 2015. Disponível em: <https://www.abrapec.com/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1186-1.PDF>. Acesso em: 10 out. 2024.

SILVA, A. T. de O.; PIRES, D. A. Gincana das funções inorgânicas: uma proposta lúdica para aulas de química. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, Foz do Iguaçu, 4(1), p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/2270>. Acesso em: 15 out. 2024.

STREFFER, C. Genomic instability induced by ionizing radiation. In: **International Radiation Protection Association Proceedings**, IRPA 10. Hiroshima, 2000. Disponível em: <https://inis.iaea.org/records/yewjx-b6888>. Acesso em: 15 out. 2024.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. L. da; BEJARANO, N. R. Cotidiano e contextualização no ensino de química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, 35(2), p. 84-89, 2013. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/04-CCD-151-12.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

WILTGEN, F. Sistema elétrico pulsado com controle digital do Tokamak ETE (Experimento Tokamak Esférico). Dissertação de Mestrado, ITA, 1998. Disponível em: http://www.bd.bibl.ita.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2594. Acesso em: 30 de set. 2024.

Submetido em 01 de novembro de 2024.

Aceito em 06 de maio de 2025.

Publicado em 06 de maio de 2025.