

Poliedros como Produto Educacional para o estudo dos conceitos de meia-vida e decaimento radioativo

Vitor Bezerra Ladeira¹ 
Lisiane Barcellos Calheiro² 
Além-Mar Bernardes Gonçalves³ 

Resumo

Este artigo propõe um produto educacional como proposta para introduzir o conceito de meia-vida no processo de decaimento radioativo, tema de difícil compreensão para estudantes da Educação Básica devido à sua natureza abstrata e a impossibilidade de realização de experimentos práticos em sala de aula. Para superar essas limitações, desenvolvemos uma proposta de produto educacional baseada em simulação, utilizando poliedros como representação de átomos instáveis em processo de decaimento. Essa metodologia busca tornar o conceito de meia-vida mais tangível e acessível aos estudantes, promovendo uma compreensão prática e visual da probabilidade de decaimento radioativo e estimulando o aprendizado por meio da mobilização de invariantes operatórios. A proposta também explora o potencial dos poliedros como recurso didático para responder à seguinte questão de pesquisa: “o uso de simulações com poliedros contribui para uma compreensão mais profunda dos conceitos de meia-vida e decaimento radioativo entre estudantes da Educação Básica?”. O trabalho foi implementado em uma turma de primeiro ano do ensino médio de uma escola pública estadual. Os resultados indicam que a simulação com poliedros se mostrou capaz de abordar temas complexos como a radioatividade. Além disso, observamos que o uso dos poliedros mobilizou invariantes operatórios, auxiliando na construção de significados para esses conceitos. A atividade também gerou maior engajamento e participação dos estudantes, demonstrando que a simulação é uma proposta enriquecedora para o ensino de temas abstratos em Física na Educação Básica.

Palavras-chave: ensino da física; modelagem matemática; meia-vida; radioatividade.

Polyhedra as an Educational Tool for studying the concepts of half-life and radioactive decay

Abstract

This article proposes an educational product to introduce the concept of half-life in the process of radioactive decay. It is a subject that is difficult for primary school students to understand due to its abstract nature and the impossibility of carrying out practical experiments in the classroom. To overcome these limitations, we developed a proposal for an educational product based on simulation, using polyhedra as a representation of unstable atoms in the decay process. This methodology seeks to make the concept of half-life more tangible and accessible to students, promoting a practical and visual understanding of the probability of radioactive decay and stimulating learning by mobilizing operative invariants. The proposal also explores the potential of polyhedra as a teaching resource to answer the following research question: “Does the use of simulations with polyhedra contribute to a deeper

¹ Mestrando em Ensino de Ciências, pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3634-4430>. E-mail: vitor_ladeira@ufms.br.

² Doutora em Educação em Ciências, Química da Vida e Saúde pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-2574>. E-mail: barcellos.calheiro@ufms.br.

³ Doutor em Física, pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Professor na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7052-4713>. E-mail: Alem-mar.goncalves@ufms.br.

understanding of the concepts of half-life and radioactive decay among primary school students?”. The work was implemented in a first-year high school class at a state public school. The results indicate that the polyhedron simulation could address complex topics such as radioactivity. In addition, we observed that polyhedra mobilized operative invariants, helping to construct meanings for these concepts. The activity also generated greater student engagement and participation, demonstrating that simulation is an enriching proposal for teaching abstract topics in Physics in Basic Education.

Keywords: physics education; mathematical modeling; half-life; radioactivity.

Poliedros como Producto Educativo para el estudio de los conceptos de vida media y desintegración radiactiva

Resumen

Este artículo propone un producto educativo para introducir el concepto de vida media en el proceso de desintegración radiactiva, un tema de difícil comprensión para los alumnos de primaria debido a su carácter abstracto y a la imposibilidad de realizar experimentos prácticos en el aula. Para superar estas limitaciones, desarrollamos una propuesta de producto educativo basado en la simulación, utilizando poliedros como representación de átomos inestables en proceso de desintegración. Esta metodología pretende hacer el concepto de vida media más tangible y accesible a los estudiantes, promoviendo una comprensión práctica y visual de la probabilidad de desintegración radiactiva y estimulando el aprendizaje mediante la movilización de invariantes operativas. La propuesta también explora el potencial de los poliedros como recurso didáctico para responder a la siguiente pregunta de investigación: «¿Contribuye el uso de simulaciones con poliedros a una comprensión más profunda de los conceptos de vida media y desintegración radiactiva entre los alumnos de primaria?». El trabajo se aplicó en una clase de primero de secundaria de un colegio público estatal. Los resultados indican que la simulación de poliedros demostró ser capaz de abordar temas complejos como la radiactividad. Además, observamos que el uso de poliedros movilizó invariantes operatorias, ayudando a construir significados para estos conceptos. La actividad también generó mayor compromiso y participación de los alumnos, demostrando que la simulación es una propuesta enriquecedora para la enseñanza de temas abstractos de física en la educación básica.

Palabras clave: enseñanza de la física; modelización matemática; vida media; radiactividad.

Introdução

A Radioatividade é um fenômeno natural descoberto no final do século XIX que revolucionou a Ciência e a Tecnologia. Nesse período, diversos fenômenos foram observados, várias teorias foram desenvolvidas e novas máquinas surgiram, impulsionando o avanço científico e tecnológico de forma significativa (Gombrade; Londero, 2022). Suas aplicações são essenciais para áreas como medicina, geração de energia, tecnologias e pesquisa científica (Magalhães, 2021; Naujorks *et al.*, 2021).

No entanto, sua complexidade e os impactos que provocam no meio ambiente e na saúde humana também despertam a necessidade de uma educação adequada sobre o tema. No contexto da Educação Básica, a radioatividade está diretamente conectada ao dia a dia dos estudantes, uma vez que ela é a base de várias tecnologias amplamente utilizadas, como os exames de imagem, tratamentos médicos (radioterapia), datação arqueológica (carbono-14), além da geração de energia elétrica (Ostermann; Moreira, 2001; Oliveira, 2023). Dessa forma, o estudo da



radioatividade possibilita uma compreensão sobre o impacto da Ciência no cotidiano dos estudantes.

Nesse sentido, Prestes e Cappelletto (2008) destacam que a escola desempenha um papel muito importante ao problematizar questões sociais relevantes, como a radioatividade, promovendo a reflexão crítica e a conscientização dos estudantes.

No entanto, o tema é pouco explorado na Educação Básica devido à complexidade dos conhecimentos envolvidos (Zoch; Vanz, 2018), o que demanda estratégias pedagógicas mais elaboradas para facilitar a compreensão dos conceitos. Estes, por sua natureza abstrata, complexas e contraintuitiva (Neto; Oliveira; Siqueira, 2019; Rocha; Antonowiski; Alencar, 2017), demandam recursos pedagógicos que auxiliem na construção de representações mentais e na vinculação desses fenômenos com aplicações práticas e cotidianas. Para que ocorra a compreensão dos conceitos bases da radioatividade como decaimento radioativo, meia vida, emissões radioativas, entre outros, seja efetiva, é essencial a utilização de materiais didáticos que propiciem e facilitem os processos de ensino e aprendizagem.

Para abordar esse tema, propomos um produto educacional fundamentado nos trabalhos de Murray e Hart (2012) e Bertti *et al.* (2023), para introduzir o ensino dos conceitos base da radioatividade, por meio de um conjunto de poliedros com diferentes faces, usados para simular átomos instáveis e sua probabilidade de decaimento.

Nesse contexto, surge o seguinte problema de pesquisa: O uso de poliedros como recurso educacional contribui para mobilizar invariantes operatórios que favoreçam a compreensão dos conceitos de meia-vida no decaimento radioativo entre estudantes da Educação Básica? A investigação busca explorar, através dos invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes, se essa abordagem prática auxilia na compreensão dos estudantes ao tornar visível o comportamento exponencial do decaimento, aproximando-os de uma compreensão mais intuitiva e concreta desses conceitos.

Teoria dos Campos Conceituais

Tomamos a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), elaborada por Gerard Vergnaud, como referencial de análise dos resultados do nosso trabalho. A teoria



busca compreender como se desenvolve o sistema cognitivo e como habilidades mais complexas são aprendidas. Segundo Moreira (2002), o objetivo da teoria é oferecer um suporte explicativo para os estudos sobre a conexão e as transformações que a aprendizagem provoca nas pessoas. Nesse sentido, entendemos a Radioatividade como um campo conceitual dentro desse processo.

Para Vergnaud (1993), o conhecimento é adquirido por meio das situações. Para a construção do conceito, os estudantes precisam: “não somente de uma definição por enunciado e textos, mas também daquilo que está subjacente às competências e permite a ação operatória”. Aqui entendemos competência como a capacidade do sujeito de enfrentar e resolver situações. Essas competências são construídas na experiência pessoal, nas relações sociais e no conhecimento adquirido.

Quando nos deparamos com uma situação conhecida, usamos um padrão conhecido, quando nos deparamos com novas situações, buscamos aquisições, novas estratégias, estabelecimento de novas soluções, e desenvolvimento de novas habilidades (Lopes; De Sá; Darsie, 2018; Moreira, 2002). Nesta ação, estão implícitos conhecimentos, procedimentos e representação. Assim, Vergnaud (1983) organiza esses conhecimentos e habilidades em Campos Conceituais, que traz como eixo central o conceito, um elemento essencial no processo de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo, e está diretamente ligado a ação e a capacidade de resolver problemas em diferentes situações. Segundo Vergnaud, o conceito (C) é constituído de três conjuntos, conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1 – Definição dos conjuntos que formam o conceito (C) segundo Vergnaud (1998)

Conjunto	Definição/Descrição
S (Situações)	Conjunto de situações que dão sentido ao conceito, também chamado de referência. São situações práticas ou problemas que requerem o uso do conceito. Ex.: problemas de medição, comparação, classificação.
I (Invariantes Operatórios)	Conjunto de relações, objetos e propriedades que sustentam a operacionalidade dos esquemas, definidos pelos <i>conceitos-em-ação</i> e <i>teoremas-em-ação</i> . Estas invariantes são o significado e a essência dos conceitos aplicados. Ex. Objetos, propriedades, relações. <i>Conceito-em-ação</i> : conhecimentos intuitivos e implícitos que utilizamos para resolver problemas e interagir com o mundo. <i>Teorema-em-ação</i> : regras ou princípios que orientam nossas ações, mesmo que não sejam demonstrados formalmente.
R (Representações Simbólicas)	Conjunto de símbolos, notações e procedimentos que representam situações e invariantes operatórios. São as formas simbólicas de tratar e comunicar os conceitos. Ex.: Equações, gráficos, números, letras, fórmulas.



Esquemas	É a estrutura que organiza os invariantes de uma determinada classe de situações. A partir desses esquemas, investigamos os invariantes operatórios dos estudantes (Verгдаud, 1998)
----------	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Dessa forma, propomos uma análise dos invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes durante a atividade proposta para o estudo do decaimento radioativo e da meia-vida. Nosso objetivo é observar como os estudantes mobilizam os conceitos-em-ação, como a compreensão intuitiva de proporções e taxas de decaimento, e os teoremas-em-ação, como a suposição de que a quantidade de substância radioativa diminui pela metade a cada intervalo de tempo. Além disso, analisaremos as representações simbólicas empregadas, como gráficos, equações e tabelas, para verificar como eles traduzem esses conceitos em formas simbólicas adequadas.

Produto Educacional

Para realizar a atividade, foram impressos em uma impressora 3D conjuntos de poliedros regulares de quatro (tetraedro), seis (hexaedro), oito (octaedro), doze (dodecaedro) e vinte (icosaedro) lados com uma das faces marcada. Cada conjunto de poliedros (ou dados), representa um conjunto de átomos (amostra) que pode sofrer decaimento radioativo, de acordo com a probabilidade de a face marcada cair para cima permitindo explorar na prática o conceito de meia-vida. Na Figura 1 apresentamos os poliedros sendo construídos usando o aplicativo Tinkercad (www.tinkercad.com).

Figura1 – Poliedros para a impressora 3D.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Figura 2, são apresentados o modelo gráfico desenvolvido no software Creality e os poliedros resultantes após o processo de impressão.

Figura 2 – Poliedros desenvolvidos para atividade



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

À medida que os estudantes lançam os poliedros repetidamente, registra-se a quantidade de "átomos" que decaem, simulando o processo estatístico de decaimento radioativo e observando como o número de átomos que não decaíram diminui ao longo do tempo, seguindo o comportamento de uma função exponencial de onde pode-se observar o conceito de meia-vida. O intervalo em cada rodada de lançamento pode então ser definido como um intervalo de tempo.

Assim conseguimos demonstrar, por meio da estatística, o comportamento da meia-vida, tornando o conceito mais acessível e compreensível para os alunos. Ao transformar esse conceito abstrato em algo concreto e visual, facilitamos a compreensão dos fenômenos envolvidos, permitindo que os estudantes relacionem o conteúdo teórico com exemplos práticos. Além disso, ao incorporar essa explicação em uma atividade lúdica e interativa, engajamos mais os alunos no processo de aprendizagem, promovendo uma participação mais ativa em sala de aula e estimulando o interesse pelo tema. Esse tipo de abordagem facilita o aprendizado, tornando-o mais dinâmico, ao mesmo tempo em que reforça a assimilação dos conceitos de maneira significativa.

Metodologia

A presente pesquisa possui uma abordagem qualitativa, tendo como público estudantes do 1º ano do ensino médio de uma escola pública estadual. A atividade foi desenvolvida na disciplina de Unidade Curricular de Ciências da Natureza II com 25 estudantes, em 2 aulas de 50 minutos aproximadamente. Com o objetivo de preservar a privacidade dos estudantes que participaram da pesquisa, suas identidades foram alteradas para E1, E2, E3, e assim por diante. Importante ressaltar que esta pesquisa foi submetida e aprovada pela Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos CAAE: 70523323.8.0000.0021. Para a atividade com poliedros, foram utilizados 40 poliedros de cada modelo, onde foi solicitado aos estudantes que seguissem o roteiro de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Roteiro da atividade com poliedros.

Poliedros instáveis
Objetivo: Compreender o conceito de meia-vida e o processo de decaimento radioativo através de uma simulação prática, através de um conjunto de poliedros que simula átomos instáveis.
Materiais Necessários
Conjunto de 40 poliedros, divididos entre cinco tipos diferentes (tetraedros, hexaedros, octaedros, dodecaedros e icosaedros), sendo que cada poliedro deve ter uma face marcada.
Tabela de registro.
Papel quadriculado para construção de gráfico ou utilizar um programa de planilha ou de análise de gráficos.
Procedimento
1ª Etapa
Inicialmente, foram dadas as orientações sobre como realizar a atividade. Durante o lançamento, um poliedro é considerado como tendo sofrido decaimento se a face marcada (que possui um furinho) ficar voltada para cima. A cada rodada, todos os poliedros que apresentarem a face marcada voltada para cima serão removidos do conjunto, simbolizando a perda de estabilidade desse grupo.
2ª Etapa
Primeira Rodada
1. Os poliedros devem ser lançados todos de uma vez.
2. Após o lançamento, conte e separe os poliedros cuja superfície marcada ficou para cima. Anote a quantidade de poliedros que decaíram.
Rodadas Sucessivas
3. Junte os poliedros que não decaíram no recipiente e lance sobre a superfície novamente (está será considerada uma nova rodada).
4. A cada rodada, registre o número de poliedros que decaíram e calcule o total de poliedros restantes, anotando-os na tabela.
5. Repita os passos 2 e 3 até completar 20 rodadas.
3ª Etapa
6. Com os poliedros completos na tabela, peça aos alunos para representarem graficamente o decaimento.
7. No eixo X, indique o número de rodadas (ou considere que cada rodada representa uma hora).
8. No eixo Y, indique o número de poliedros restantes (que ainda não decaíram).
9. Oriente os alunos a marcar os pontos e unir com linhas para visualizar a curva de decaimento.

10. Após finalizar a atividade responda as questões.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na terceira etapa, depois que os estudantes terminaram as atividades propostas, foi apresentado um conjunto de seis questões (Quadro 3) para eles responderem. Essas perguntas foram elaboradas para aprofundar a compreensão sobre os conceitos explorados durante a atividade e incentivar a reflexão sobre o processo e os resultados obtidos.

Quadro 3 – Questões aplicadas na atividade com poliedros

Questão	Enunciado
Situação-problema	Imagine que você é um físico que foi contratado para fazer a manutenção de uma máquina de raio X e precisa fazer a reposição dos materiais radioativos da máquina, para isso você dispõe de dois isótopos, um com o tempo de meia vida curto, na casa dos minutos, e um com o tempo de meia vida mais longo, na casa dos meses. Contudo na hora de transportar esses elementos você percebeu que as etiquetas se descolaram do recipiente em que eles estavam guardados, e agora você precisa identificar cada um deles, como você poderia fazer a identificação das amostras?
Questão 1	O que os dados estão representando em um processo de decaimento?
Questão 2	Ao fazer o experimento pela segunda vez, a quantidade de dados decaindo a cada rodada foi maior ou menor? E a quantidade de faces dos dados foi maior ou menor? Existe alguma relação entre os dados decaindo e a quantidade de faces do dado?
Questão 3	Qual é o tempo de meia vida em horas de cada tipo de dado? Considere que o intervalo de tempo entre cada rodada é de 1 hora. Descreva o pensamento que você utilizou para chegar nessa resposta.
Questão 4	Por que o tempo de meia vida é diferente para cada tipo de dado? Tem alguma coisa haver com a probabilidade? Discuta
Questão 5	
Questão 6	Faça um pequeno texto descrevendo quais conceitos você utilizou na atividade, como ele foi representado e de que forma ela foi utilizada durante o experimento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Desse modo, este estudo analisou os esquemas utilizados pelos estudantes ao responderem às questões propostas. A proposta foi implementada como introdução ao ensino dos conceitos de meia vida e o processo decaimento, com o objetivo de compreender como os estudantes mobilizam os conceitos durante a atividade.



Resultados e Discussão

Nesta seção, apresentaremos a análise das respostas fornecidas pelos estudantes durante a atividade, à luz da Teoria dos Campos Conceituais. Para a atividade, buscamos fornecer duas diferentes combinações de dados para cada estudante, permitindo que comparassem as probabilidades de cada dado de "decair", relacionando esses resultados com o número de lados dos dados. A Figura 3 apresentamos os estudantes desenvolvendo a atividade.

Figura 3 – Estudantes desenvolvendo a atividade com poliedros simulando o fenômeno probabilístico de átomos instáveis.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os resultados obtidos foram organizados em duas etapas, a primeira consiste na regra da ação, buscando uma relação de causa e efeito. Como por exemplo, o estudante E15 respondeu para a questão situação problema que “[...] ver qual amostra está diminuindo mais rapidamente, aí saberia qual é o que tem meia-vida menor”. Logo, conseguimos concluir que se o elemento perde massa mais rapidamente (efeito), então ele terá uma meia-vida menor (causa). Dessa forma, chegamos ao seguinte teorema-em-ação: *Um elemento com tempo de meia-vida menor perderá massa mais rapidamente. Vemos que os estudantes associam o decaimento a perda de massa. Tal entendimento pode estar associado ao fato de o estudante retirar o dado que caiu com a marca voltada para cima e realizar o lançamento do restante. De fato, ocorre a perda de massa no processo, mas é necessário deixar claro que decair*

se refere ao átomo com núcleo instável decair para um átomo mais estável (transmutando ou não).

Em seguida determinamos o conceito-em-ação na segunda etapa, onde definimos os conceitos que estão explícitos ou implícitos nos teoremas-em-ação. Por exemplo, no caso do estudante E15 refere-se no trecho “*ver qual está diminuindo mais rapidamente*” aos conceitos de massa e desintegração radioativa de forma implícita, podendo ser reescrito de forma explícita sem mudar o sentido da frase como “*ver qual elemento está perdendo massa mais rapidamente devido a desintegração radioativa ser mais rápida para elementos com meia vida menor*”. Dessa forma conseguimos verificar os conceitos-em-ação explícitos ou implícitos através da análise do teorema-em-ação demonstrado pelos estudantes.

Como mencionado na metodologia, foram propostas seis questões para a atividade, juntamente com a montagem dos gráficos. No entanto, para a análise, optamos por selecionar apenas três questões, pois consideramos que essas abordam os pontos centrais da atividade e fornecem uma base sólida para a interpretação dos resultados. As questões escolhidas foram: a situação-problema, a questão 4 e a questão 6.

No Quadro 4 apresentamos os possíveis conceitos-em-ação e teoremas-em-ação mobilizados pelos estudantes para situação-problema:

Quadro 4 – Análise dos invariantes operatórios para situação problema

Conceito-em-ação	Teorema-em-ação	Exemplo de justificativa dada pelos estudantes	Frequência
Massa atômica	T ₁ - Quando pesado, os elementos irão demonstrar uma diferença de massa entre eles.	E3 – “ <i>Por duas amostras, pesar e comparar</i> ”.	5 estudantes
Massa atômica, meia vida, velocidade de desintegração.	T ₂ - Um elemento com tempo de meia-vida menor perderá massa mais rapidamente.	E15 – “ <i>Primeiramente eu iria pegar duas amostras dos isótopos falados, colocar na balança e ver qual está diminuindo mais rapidamente, aí saberia qual é o que tem meia vida menor</i> ”	18 estudantes
Massa atômica, Meia Vida, decaimento radioativo, velocidade de desintegração.	T ₃ - Meia-vida é o tempo para uma amostra chegar à metade de sua massa	E17 – “ <i>Iria separar duas amostras iguais dos elementos que estão sem etiqueta, colocaria elas na balança e observaria por alguns minutos. Após esses minutos eu conseguiria observar que apenas um dos elementos teve sua massa alterada, pois sua meia vida é na casa dos minutos, ou seja, ele chegará à</i>	2 estudantes

		<i>metade de sua massa em alguns minutos enquanto que a outra amostra não sofreria nenhum tipo de perda ou quase nada de perda porque precisa de meses para isso, já que sua meia vida é na escala dos meses.”</i>	
--	--	--	--

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para a situação-problema, cinco estudantes demonstraram associar a resolução dos problemas apenas à massa/peso, mesmo que de forma implícita, sem conseguir relacionar os fenômenos de decaimento ou meia-vida, apesar de estes serem mencionados na situação-problema, e dessa forma demonstrando respostas bastante genéricas. Para esses estudantes, podemos dizer que o T_1 pode ou não ser verdadeiro, pois ao seguir a ideia de que apenas pesar o material seria suficiente, pode haver um equívoco, pois inicialmente observamos pouca ou nenhuma diferença entre as massas na balança. No entanto, o teorema se torna verdadeiro à medida que colocamos a variável tempo, pois ao longo do tempo, essas massas se desintegram de maneira diferente em cada amostra, já que possuem meias-vidas distintas. É importante deixar claro aos estudantes que os procedimentos de medir o decaimento radioativo geralmente detectam a radiação emitida pela amostra, medindo, assim, a intensidade da radiação emitida em função do tempo.

Enquanto isso, 18 estudantes conseguiram articular diferentes conceitos, como meia-vida e decaimento radioativo, para responder à questão. Diferentemente dos estudantes anteriores, esses estudantes perceberam que o tempo é um fator importante para diferenciar as massas das amostras devido à desintegração radioativa. Além disso, mostraram, mesmo que de forma implícita, os conceitos de desintegração e meia-vida em suas respostas. Isso demonstra que o T_2 está diretamente relacionado à velocidade com que a amostra perde massa, já que uma amostra contendo elementos com menor tempo de meia-vida perde massa mais rapidamente, pois a taxa de decaimento radioativo é diretamente proporcional à quantidade de material, sendo o tempo de meia-vida a constante de proporcionalidade. Assim, ao compararmos amostras com a mesma quantidade de isótopos instáveis, quanto menor a meia-vida, maior será a frequência de decaimento do elemento, levando à conclusão de que T_2 é um teorema verdadeiro.

Por fim, dois estudantes, conseguiram fazer uma maior articulação dos conceitos, demonstrando um domínio conceitual maior em comparação aos grupos anteriores. Além de incluírem os teoremas T_1 e T_2 em suas respostas, conseguiram articular de forma clara o conceito de meia-vida descrito no T_3 . Eles explicaram que a meia-vida é o tempo necessário para que a massa de um elemento se reduza à metade, e, no caso de um elemento com meia-vida de apenas alguns minutos, essa redução ocorre rapidamente, concluindo que T_3 é verdadeiro.

Em conclusão, tivemos três grupos que apresentaram níveis diferentes de compreensão dos conceitos envolvidos. No primeiro grupo, onde os estudantes limitaram-se a associar o problema apenas à ideia de massa/peso, sem compreender adequadamente os fenômenos de decaimento e meia-vida, observamos um *conceito em ação* ainda restrito. Eles utilizaram a noção de massa de forma genérica, sem construir um teorema-em-ação coerente com os fenômenos observados. Aqui, o *invariante operatório* subjacente, ou seja, o princípio que orienta suas ações, era inadequado, focando apenas na quantidade de massa sem considerar variáveis como o tempo ou a velocidade de desintegração.

Já no segundo grupo, onde tivemos a maior parte dos estudantes enquadrados nele, os estudantes mobilizaram diferentes conceitos-em-ação de forma mais articulada, como a relação entre meia-vida e decaimento radioativo, resultando em um *teorema-em-ação* mais adequado à situação. O invariante operatório nesse caso já considerava o tempo como uma variável essencial para distinguir as massas, permitindo validar o teorema T_2 .

Por fim, no último grupo, os estudantes demonstraram um domínio mais avançado, mobilizando múltiplos conceitos-em-ação — como tempo, meia-vida e desintegração radioativa — e aplicando-os corretamente em seus teoremas-em-ação. O invariante operatório nesse grupo era mais complexo e completo, envolvendo a compreensão de que a taxa de decaimento e o tempo influenciam diretamente a perda de massa, o que lhes permitiu validar os três teoremas de maneira precisa.

Essa diferença entre os grupos evidencia um desenvolvimento gradual de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, com possibilidade de avanços na capacidade de relacionar variáveis científicas complexas para interpretar fenômenos radioativos, a partir da proposta implementada.



No Quadro 5 apresentamos os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que os estudantes mobilizaram na resolução da questão 4.

Quadro 5 – Análise dos invariantes operatórios para questão 4

Conceito em ação	Teorema em ação	Exemplo de justificativa dada pelos estudantes	Frequência
Átomos	T ₁ - Se um dado for diferente de outro, logo tenho representações de átomos de elementos diferentes	E8 - “Porque cada tipo de dado representa um átomo de elemento diferente.”	8 estudantes
Átomo, Probabilidade, decaimento radioativo	T ₂ - Se um dado possui mais faces que outro, logo será mais difícil para esse dado decair.	E15 - “Porque os dados representam elementos diferentes, alguns com meia vida maior e outros menores. E sim, tem a haver com a probabilidade já que quanto maior o número de faces mais difícil será cair para o lado certo.”	3 estudantes
Meia vida, átomo, probabilidade	T ₃ - Se um conjunto de dados iguais possui quantidade de faces diferentes de outro conjunto, logo terei meia vida diferentes para cada dado.	E17 - “Cada tipo de átomo produz uma meia vida diferente, na atividade o dado que tem mais faces vai representar um átomo com mais meia vida também por que tem uma chance menor de cair na face certa para cima.”	4 estudantes
Probabilidade, meia vida	T ₄ - Se um dado possui diferentes números de lados, logo ele representará amostras com diferentes meias vidas.	E3 - “Devido a quantidade de lados de cada dado.”	7 estudantes
-	-	Não respondeu	3 estudantes

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

Conforme apresentamos no Quadro 3, oito estudantes mobilizaram invariantes operatórios ao relacionar a diferença entre os dados com a representação de átomos de elementos distintos. Usando o teorema-em-ação de que, se um dado é diferente de outro, ele representa amostras de átomos de elementos diferentes. Esse teorema foi considerado verdadeiro, pois a diversidade entre os dados simboliza a variação natural entre os átomos dos diferentes elementos químicos. O conceito-em-ação utilizado pelos estudantes foi o de átomo, entendendo que cada tipo de dado correspondia a um átomo específico, como ressaltado pelo estudante E8: “Porque cada tipo de dado representa um átomo de elemento diferente.”

Enquanto que três estudantes, mobilizaram invariantes operatórios ao associar o número de faces dos dados com a dificuldade de decaimento, aplicando o teorema-em-ação de que, se um dado possui mais faces que outro, será mais difícil para aquele conjunto de dados "decair", visto que esse conjunto representa uma amostra com uma

meia vida maior. Esse teorema foi considerado verdadeiro, pois um dado com mais faces tem uma probabilidade menor de cair para o lado desejado, representando uma amostra com uma meia-vida maior.

Os conceitos-em-ação apresentados pelos estudantes foram de átomo, probabilidade e decaimento radioativo, já que os dados com mais faces simbolizam amostras de átomos de elementos com maior estabilidade e, portanto, menor probabilidade de decair rapidamente. O estudante E15 destacou isso afirmando: “Porque os dados representam elementos diferentes, alguns com meia-vida maior e outros menores. E sim, tem a ver com a probabilidade já que quanto maior o número de faces mais difícil será cair para o lado certo.” Esse raciocínio evidencia que os estudantes compreenderam a comparação entre sua meia-vida, chances de decaimento e o número de lados dos dados.

Um outro grupo de quatro estudantes apresentaram invariantes operatórios ao relacionar a diferença nas faces dos dados com a meia-vida de cada tipo de átomo, aplicando o teorema em ação que afirma que, se um dado possui faces diferentes de outro tipo de dado, logo terá meias-vidas diferentes. Esse teorema é considerado verdadeiro, pois a variação no número de faces reflete a probabilidade de cada dado "decair" em uma face específica, o que, por sua vez, se relaciona à estabilidade dos átomos representados. Os conceitos em ação utilizados pelos estudantes incluem meia-vida, átomo e probabilidade, já que cada tipo de átomo, representado por um dado, tem características únicas que influenciam sua taxa de desintegração. Um dos estudantes articulou essa ideia ao dizer: “Cada tipo de átomo produz uma meia-vida diferente; na atividade, o dado que tem mais faces vai representar um átomo com mais meia-vida também porque tem uma chance menor de cair na face certa para cima.” Essa afirmação evidencia que os estudantes compreenderam a relação entre a estrutura dos átomos, a probabilidade de seus estados e as respectivas meias-vidas, demonstrando uma aplicação correta dos conceitos científicos no contexto proposto.

Por fim, identificamos sete estudantes que apresentaram conceitos-em-ação e teoremas-em-ação relacionados à probabilidade e meia-vida; no entanto, suas respostas foram muito superficiais. Isso é exemplificado pela fala do estudante E3: “Devido à quantidade de lados de cada dado.” Observamos que o estudante conseguiu associar o conceito de meia-vida ao número de lados dos dados, mas não ofereceu nenhuma explicação adicional, limitando-se a uma resposta superficial. Além



disso, três estudantes não responderam à questão proposta. Em resumo, a maioria dos estudantes demonstrou a capacidade de aplicar conceitos e teoremas em ação, estabelecendo conexões entre a diferença no número de faces dos dados e as respectivas meias-vidas das amostras que os dados representam, além de considerar a probabilidade associada a esses fenômenos.

O Quadro 6 apresentamos possíveis conceitos-em-ação e teoremas-em-ação demonstrados pelos estudantes para questão 6:

Quadro 6 – Análise dos invariantes operatórios para questão 6

Conceito em ação	Teorema em ação	Exemplo de justificativa dada pelos estudantes	Frequência
Meia vida	T ₁ – Se os dados chegam à metade, logo podemos considerar aquele momento como sendo a meia vida do conjunto de “dados”	E17 – “Utilizamos o gráfico para ver em que momento os dados chegarem na metade para então ver que naquela rodada seria a meia vida desse dado.”	7 estudantes
Decaimento radioativo	T ₂ – Se um átomo está de decaindo, logo ele perderá massa.	E3 – “O conceito de meia vida e desintegração ao ir perdendo dados a cada rodada”	3 estudantes
Velocidade de desintegração	T ₃ – Se os dados representam átomos diferentes, logo os conjuntos de dados diferentes terão diferentes taxas de decaimento.	E9 – “A velocidade que um dado decai dependendo do dado utilizado”	3 estudantes
Massa atômica	T ₄ – Se o dado representa um átomo, logo ele terá massa.	E21 – “O conceito de massa quando comparamos os dados com átomos.”	2 estudantes
Probabilidade	T ₅ – Dados com diferentes números de lados, possuem probabilidades diferentes	E11 – “Usei o conceito de probabilidade, pois tinham dados com vários lados.”	5 estudantes
Meia vida; Velocidade de desintegração	T ₆ – Se o dado demora mais para cair com a face para cima, logo a amostra terá um tempo de decaimento maior.	E15 – “Usei o conceito de meia vida quando vi onde dava a metade dos dados e também o conceito de tempo de decaimento porque alguns dados demoravam mais para cair com o lado certo para cima.”	2 estudantes
-	-	Não responderam	3 estudantes

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para a questão 6, sete estudantes apresentaram invariantes operatórios que indicavam que a meia-vida está relacionada à redução à metade do número de dados. Esse entendimento pode ser considerado um teorema-em-ação verdadeiro, uma vez que os dados simbolizam átomos instáveis em um processo de decaimento radioativo. Como mencionado na resposta do E17: “[...] que *momento os dados chegarem na*

metade para então ver que naquela rodada seria a meia vida desse dado.” Essa observação revela que o estudante explicitou o conceito de meia-vida de maneira alinhada ao conhecimento científico sobre o fenômeno observado. Além disso, o invariante operatório demonstrado pelos estudantes reflete um entendimento mais profundo, onde a relação entre a meia-vida e a quantidade de dados é internalizada como um princípio que guia suas ações e raciocínios. Essa articulação entre conceito-em-ação e teorema-em-ação, neste contexto, evidencia um avanço na compreensão dos estudantes sobre o processo de decaimento e suas implicações.

Em relação a velocidade de desintegração, três estudantes demonstraram invariantes operatórios ao relacionar a desintegração radioativa com a perda de dados ao longo das rodadas, comparando essa perda com a diminuição de massa, visto que os dados representam esse conceito. Nesse caso, o conceito em ação envolve a percepção de que a redução da quantidade de dados está associada ao processo de decaimento, enquanto o teorema em ação aplicado pelos estudantes afirma que, em um processo de decaimento radioativo, ocorre a perda de massa devido à emissão de partículas radioativas. Essa combinação de conceitos em ação e teoremas em ação mostra que os estudantes internalizaram os princípios do decaimento radioativo, permitindo-lhes validar o Teorema 2 como verdadeiro.

Para três estudantes, os invariantes operatórios demonstrados foram ao relacionar a velocidade de decaimento dos dados com a variação observada nas rodadas, destacando que “*a velocidade que um dado decai depende do dado utilizado. – A9*” O conceito em ação aqui envolve a compreensão de que diferentes dados, representando diferentes átomos, terão diferentes velocidades de desintegração radioativa. O teorema em ação formulado sustenta que, se os dados representam átomos diferentes, então esses átomos terão diferentes velocidades de desintegração, refletindo a variação nas taxas de decaimento entre os átomos.

Dois estudantes demonstraram invariantes operatórios ao relacionar os dados utilizados com o conceito de massa atômica, refletindo o entendimento de que, se o dado representa um átomo, então ele terá massa, conforme o teorema em ação proposto. O conceito em ação aqui é a compreensão de massa atômica, aplicada pelos estudantes ao interpretar os dados como átomos, estabelecendo uma correlação direta. Um dos estudantes explicitou essa ideia ao afirmar: “*O conceito de massa quando comparamos os dados com átomos.*” Essa articulação mostra que os

estudantes internalizaram o princípio de que todo átomo possui massa e que, ao utilizar os dados como representação simbólica, eles estão também vinculando esse conceito de massa ao contexto de e decaimento radioativo.

Cinco estudantes demonstraram invariantes operatórios ao associar os diferentes números de lados dos dados com as probabilidades variadas de decaimento, compreendendo que dados com diferentes números de lados apresentam probabilidades diferentes de determinado resultado, conforme o teorema em ação. O conceito em ação aqui é o de probabilidade, aplicado pelos estudantes ao analisarem a diversidade de lados nos dados e suas implicações para os resultados possíveis. Um dos estudantes destacou essa ideia ao afirmar: “Usei o conceito de probabilidade, pois tinham dados com vários lados.” Essa abordagem evidencia que os estudantes internalizaram o princípio de probabilidade, entendendo que quanto mais lados um dado tem, maior será a variação nas chances de determinados eventos ocorrerem, aplicando isso ao contexto da atividade de decaimento.

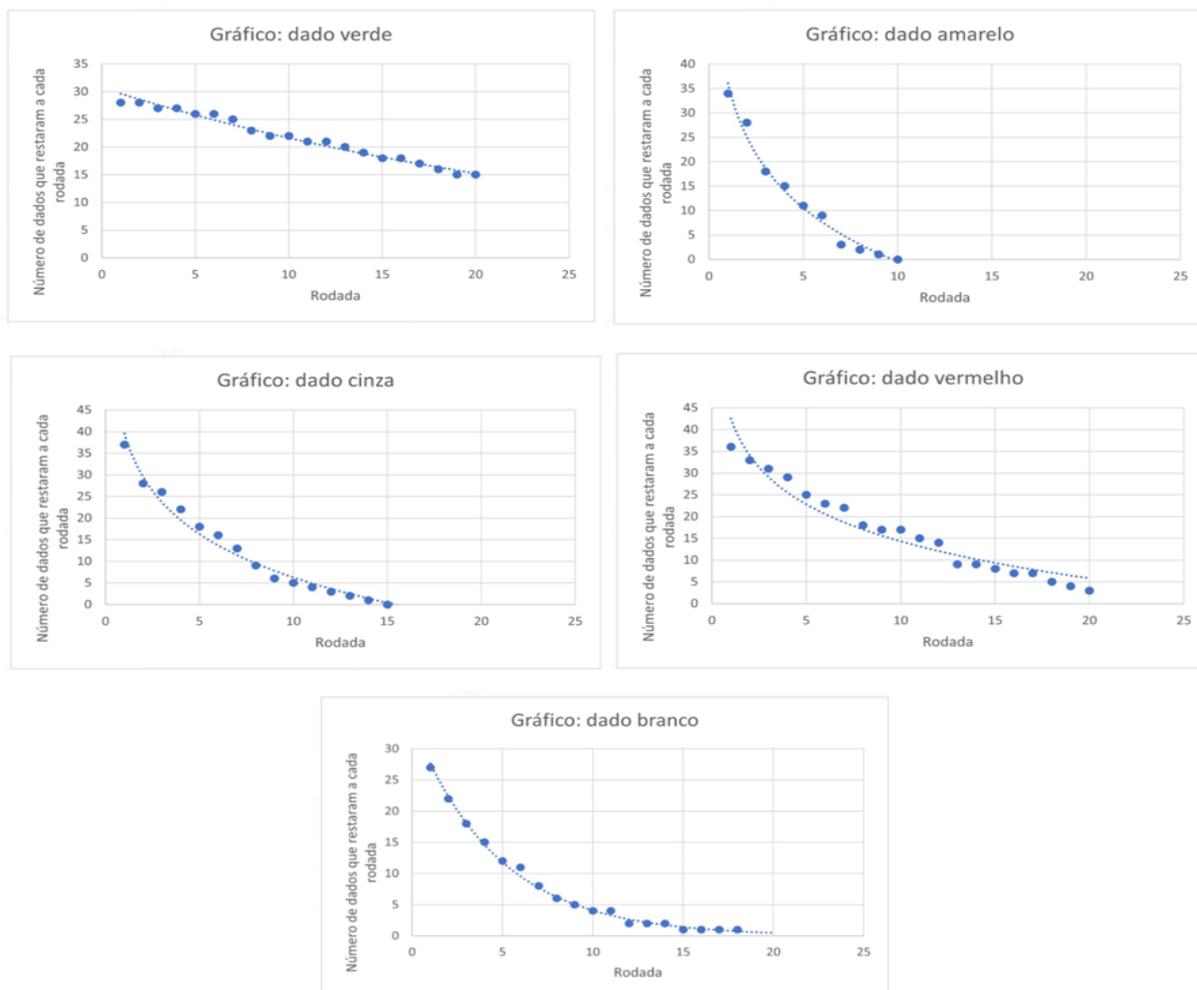
Dois estudantes demonstraram invariantes operatórios ao associar o tempo que um dado leva para cair com a face correta para cima com o conceito de meia-vida e velocidade de desintegração. Eles entenderam que, se um dado demora mais para cair com a face para cima, então ele tem um tempo de decaimento maior, validando esse teorema em ação como verdadeiro. Os conceitos em ação aplicados pelos estudantes foram a meia-vida e a velocidade de desintegração, pois eles perceberam que diferentes dados representavam diferentes taxas de decaimento. Um dos estudantes afirmou: “Usei o conceito de meia-vida quando vi onde dava a metade dos dados e também o conceito de tempo de decaimento porque alguns dados demoravam mais para cair com o lado certo para cima.” Essa compreensão demonstra que os estudantes conseguiram relacionar o tempo de decaimento com a velocidade de desintegração, reforçando o entendimento sobre o comportamento dos átomos em processos de decaimento radioativo.

Por fim, 3 estudantes não responderam à questão. Considerando as respostas dos demais estudantes, pudemos observar que conseguiram mobilizar diferentes conceitos-em-ação e teoremas-em-ação para explicar os fenômenos relacionados ao decaimento radioativo. Discutiram conceitos como meia-vida, probabilidade, massa atômica, desintegração radioativa e velocidade de desintegração que foram utilizados pelos estudantes para interpretar os dados, demonstrando a internalização de



princípios científicos. Ao final da atividade foi solicitado que os estudantes montassem um gráfico do número de dados que sobraram a cada rodada em função da rodada para cada tipo de dado que ele utilizou em seu experimento para poder visualizar a natureza exponencial do decaimento radioativo.

Figura 4 – Gráficos montados pelos estudantes



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Ao analisar os gráficos produzidos pelos alunos, segue um resultado esperado, por exemplo, o gráfico dos dados amarelos mostrou que na rodada 10 todos os dados foram eliminados por terem caído com a face marcada voltada para cima conforme previsto. Esse dado representava o poliedro com o menor número de faces, o que o tornava a amostra com a maior probabilidade de decaimento a cada rodada. Isso está alinhado com a teoria da probabilidade aplicada ao decaimento radioativo: quanto menor o número de lados do dado (ou seja, menos possibilidades de evitar o decaimento), maior a probabilidade de cada dado decair (cair com a face marcada

para cima. À medida que o número de lados aumenta a probabilidade de o dado cair com a face para cima diminui, indicando que poliedros com mais faces simbolizam amostras com uma meia-vida maior. Esse comportamento pode ser observado no caso do poliedro branco, que, possuindo um maior número de faces em relação ao amarelo, só completou seu decaimento na rodada 18, evidenciando que a probabilidade de decaimento era menor em cada rodada.

Segundo Okuno e Yoshimura (2010), a constante de desintegração (λ) tem uma relação inversa com a meia-vida: quanto maior a constante, mais rapidamente uma amostra atinge a metade de sua massa inicial, ou seja, sua meia-vida é menor. Portanto, radioisótopos com uma meia-vida menor decaem mais rapidamente, o que foi claramente representado pelos dados com menos faces na simulação. Esses dados tinham uma maior probabilidade de decaimento a cada rodada, correspondendo a uma meia-vida mais curta e uma constante de desintegração maior.

Além disso, o decaimento radioativo dos núcleos segue um comportamento exponencial, como observado nos gráficos criados pelos alunos. Esse comportamento exponencial implica que, em cada intervalo de meia-vida, a quantidade de átomos remanescentes na amostra é reduzida pela metade. Essa redução gradual e previsível reflete a natureza probabilística do decaimento radioativo: cada átomo individualmente tem uma chance de decair em qualquer momento, mas o comportamento da amostra, em média, segue um padrão exponencial onde, após um intervalo de tempo (tempo de meia-vida) a quantidade de átomos instáveis cai pela metade. Assim, os gráficos não apenas validam esse comportamento exponencial, mas também ilustram como o processo de decaimento é influenciado pela probabilidade.

Os resultados evidenciaram que os estudantes mobilizaram diferentes teoremas-em-ação em diferentes níveis de complexidade. A maioria demonstrou compreensão dos princípios fundamentais do decaimento radioativo e da meia-vida, estabelecendo conexões entre o número de lados dos poliedros e a probabilidade de decaimento. No entanto, um grupo menor de estudantes demonstrou maior domínio conceitual, articulando diferentes conceitos, como probabilidade, meia-vida e desintegração radioativa. Esses resultados sugerem que o uso de poliedros como recurso pedagógico contribui na internalização de conceitos científicos complexos, embora o grau de assimilação varie conforme o conhecimento prévio (Moreira, 2018) e a experiência dos estudantes com o tema.



A análise dos invariantes operatórios também revelou a capacidade dos estudantes de mobilizar conceitos-em-ação e teoremas-em-ação de forma prática. Embora alguns invariantes operatórios apresentassem incoerências científicas ou incompletos, todos os estudantes conseguiram articular ou relacionar algum conceito do campo conceitual da radioatividade. Moreira (2002, p. 16) destaca que “[...] conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, transformarem-se em conceitos e teoremas científicos, embora esse processo possa levar muito tempo”.

Embora uma única atividade não seja suficiente para determinar, de forma conclusiva, se houve domínio do campo conceitual, ela já proporciona importantes subsídios para futuras investigações relacionadas à temática (Santana; Alves; Nunes, 2015; Delgado, 2023). Outro resultado relevante a ser destacado é que a maioria dos estudantes conseguiu estabelecer a conexão entre o decaimento dos poliedros e os fenômenos observados em átomos reais, validando as representações simbólicas propostas. No entanto, as respostas mais superficiais de alguns estudantes indicam a necessidade de um acompanhamento mais individualizado durante a atividade, a fim de garantir a compreensão de conceitos fundamentais, como a relação entre probabilidade e desintegração radioativa.

A utilização de um recurso lúdico contribuiu significativamente para a participação e aprendizagem dos estudantes. Isso foi evidenciado pela alta taxa de respostas completas às questões e pela disposição dos estudantes em discutir os resultados. Além disso, o uso dos poliedros ajudou a superar a abstração do tema, proporcionando uma aprendizagem mais significativa. Dessa forma, o produto educacional demonstrou ser um recurso importante para a atividade proposta, ao tornar um tema abstrato, como o decaimento radioativo, em uma experiência prática e acessível, facilitando a compreensão dos conceitos pelos estudantes e contribuindo para o domínio do campo conceitual da radioatividade. Conforme destacado por Martins e Barrios (2024), atividades lúdicas promovem uma interação mais rica e dinâmica, essencial para a internalização de conceitos complexos, o que reforça o impacto positivo dessa abordagem no ensino de física.

Considerações finais

A atividade proposta mostrou-se muito promissora na tarefa de tornar compreensíveis conceitos abstratos da radioatividade, como meia-vida e decaimento radioativo. Ao utilizar materiais concretos e uma abordagem lúdica, foi possível aproximar os estudantes de um tema muitas vezes considerado complexo. Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a atividade contribuiu significativamente para a construção de um conhecimento mais significativo sobre a radioatividade, superando as dificuldades típicas encontradas no ensino desse conteúdo. Observamos também a importância de proporcionar aos estudantes experiências de aprendizagem diversificadas, que contemplem tanto aspectos teóricos quanto práticos. Ao incorporar atividades interativas, como jogos e experimentos, os estudantes puderam observar os fenômenos de meia-vida e decaimento radioativo de maneira mais acessível e compreensível.

Outro ponto a ser ressaltado é a análise dos Invariantes Operatórios apresentada neste estudo, essa análise contribuiu para um primeiro passo na investigação do Campo Conceitual da Radioatividade, que integra uma sequência didática mais ampla, e que visa propiciar aos estudantes uma compreensão mais aprofundada do tema, onde as respostas evidenciaram que, quando os estudantes se deparam com situações que exigem a mobilização de conceitos científicos, como a relação entre o número de faces dos dados e a meia-vida dos átomos que eles representam, eles conseguem construir explicações coerentes e fundamentadas. Esses invariantes operatórios são fundamentais para entender como os estudantes internalizam e aplicam o conhecimento, permitindo que desenvolvam um raciocínio científico mais apurado. Embora alguns estudantes tenham demonstrado respostas superficiais ou incompletas, a maioria foi capaz de estabelecer relações claras entre os conceitos abstratos e os resultados observados, reforçando a importância de práticas pedagógicas que aproximem teoria e prática para a construção do conhecimento científico. Após realizarem a atividade com poliedros, os estudantes foram orientados a montar um gráfico que mostrasse o número de poliedros restantes em cada rodada, em função do número de rodadas, para cada tipo de poliedro utilizado no experimento. Esse gráfico permitiu visualizar a natureza exponencial do decaimento radioativo. Em seguida, uma aula expositiva e dialogada foi conduzida para consolidar os conceitos abordados, utilizando a simulação com os poliedros como referência para explicar os conceitos envolvidos.



Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Referências

BERTTI, C. V. B. *et al.* Proposta de um experimento para a compressão da meia-vida radioativa com o uso de poliedros físicos e virtuais. **Revista de Enseñanza de la Física**, Córdoba, v. 35, n. 1, p. 109-118, 2023. Disponível em:

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/41394>. Acesso em: 10 out. 2024.

DELGADO, P. L. G. **O GPS a partir da aprendizagem baseada em projetos na explicitação dos invariantes operacionais relacionados ao campo conceitual da relatividade**. 2023. 186 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/8574/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

GOMBRADE, R.; LONDERO, L. Percepções de estudantes sobre usinas nucleares e o resíduo radioativo. **Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, Bogotá, v. 17, n. 2, p. 286-299, 2022. Disponível em:

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/17810>. Acesso em: 10 out. 2024.

LOPES, T. B.; DE SÁ, P. F.; DARSIE, M. M. P. Influências de epistemólogos anteriores e contemporâneos para a elaboração da teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 250-263, 2018.

MARTINS, S. P.; BARRIOS, M. R. M. Transformando a educação matemática: o impacto das atividades lúdicas no engajamento e desempenho dos alunos. **Revista Multidisciplinar HUMANIDADES & TECNOLOGIA (FINOM)**, [S. l.], v. 48, 2024.

MAGALHÃES, G. M. **Radioatividade**: situação-problema com enfoque CTS no contexto do PIBID. 2021. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura Química) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2021. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/5623>. Acesso em: 27 jan. 2025.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/569>. Acesso em: 10 out. 2024.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73–80, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/152679>. Acesso em: 27 jan. 2025.

MURRAY, A.; HART, I. The "radioactive dice" experiment: why is the "half-life" slightly wrong? **Physics Education**, [S. l.], v. 47, p. 197-201, 2012. Disponível em: https://quarknet.org/sites/default/files/The-radioactive-dice-experiment_-why-is-the-half-lifelighty-wrong.pdf. Acesso em: 27 jan. 2025.

NAUJORKS, A. C. *et al.* Um modelo impresso em 3D que simula um contador Geiger-Müller e o experimento de decaimento radioativo. **Journal Of Chemical Education**, [S. l.], v. 98, n. 10, 2021. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8090075>. Acesso em: 25 jan. 2025.

NETO, J. G. P.; OLIVEIRA, A. N.; SIQUEIRA, M. C. M. Ensino de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio: o que pensam os envolvidos? **ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 65-89, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/ScientiaTec/article/view/3204>. Acesso em: 27 jan. 2025.

OLIVEIRA, D. S. **Uma proposta para o ensino de radioatividade na educação básica**. 2023. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/38053>. Acesso em: 27 jan. 2025.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6676/6144>. Acesso em: 02 nov. 2024.

PRESTES, M.; CAPPELLETO, E. Aprendizagem significativa no ensino de física das radiações: contribuições da educação ambiental. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 20, 2008. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/remea/article/view/3839/2289>. Acesso em: 03 nov. 2024.

ROCHA, L. C. T.; ANTONOWISKI, R.; ALENCAR, M. V. Dificuldades encontradas para aprender e ensinar física moderna. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 10, n. 4, 2017. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/index.php/SEA/article/download/384/pdf/1718>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SANTANA, E.; ALVES, A. A.; NUNES, C. B. A teoria dos campos conceituais num processo de formação continuada de professores. **Bolema**, Rio Claro, v. 29, n. 53, p. 1162-1180, dez. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bolema/a/6rHfN88Ccn67444CKmgssDQ/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

VERGNAUD, G. Psychology and Didactics of Mathematics in France. **International Reviews on Mathematical Education**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 59-63, 1983. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ283177>. Acesso em: 10 out. 2024.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In: NASSER, L. (ed.). SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA DO RIO DE JANEIRO, 1., 1993, Rio de Janeiro. **Anais** [...], Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Wagner-Pommer/publication/325035542_A_Teoria_dos_Campos_Conceituais_de_Gerard_Vergnaud/links/5af27dafaca272bf4259dd17/A-Teoria-dos-Campos-Conceituais-de-Gerard-Vergnaud.pdf. Acesso em: 10 out. 2024

VERGNAUD, G. Uma teoria abrangente de representação para a educação matemática. **Journal of Mathematical Behavior**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.

ZOCH, A. N.; VANZ, L. Abordagem do conteúdo de radioatividade por meio de uma WebQuest. Educitec - **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, Brasil, v. 4, n. 09, 2018. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/449>. Acesso em: 21 out. 2024.

Recebido: 11/11/2024

Aprovado: 29/01/2025

Publicado: 31/01/2025

Como citar (ABNT): LADEIRA, V. B.; CALHEIRO, L. B.; GONÇALVES, A. B. Poliedros como Produto Educacional para o estudo dos conceitos de meia-vida e decaimento radioativo. **Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, v. 11, e256725, 2025.

Contribuição de autoria:

Vitor Bezerra Ladeira: Conceituação, análise formal, investigação, metodologia, administração de projeto, validação, visualização, escrita (rascunho original) e escrita (revisão e edição).

Lisiane Barcellos Calheiro: Conceituação, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, validação, recursos, supervisão e escrita (revisão e edição).

Além-Mar Bernardes Gonçalves: Conceituação, recurso, software, escrita (revisão e edição).

Editor responsável: Iandra Maria Weirich da Silva Coelho

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

