

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA-MNPEF

GERSON GOMES DE SOUSA JÚNIOR

DECAIMENTOS RADIOATIVOS: DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA GUIADA
PELO CONCEITO DE ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL.

SÃO LUÍS – MA
2025

GERSON GOMES DE SOUSA JÚNIOR

DECAIMENTOS RADIOATIVOS: DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA GUIADA
PELO CONCEITO DE ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL.

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física -MNPEF,
Polo 47- UFMA.

Orientador: Prof. Dr. Karl Marx Silva Garcez

SÃO LUÍS – MA

2025

DECAIMENTOS RADIOATIVOS: DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA GUIADA
PELO CONCEITO DE ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL.

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física -MNPEF,
Polo 47- UFMA.

Orientador: Prof. Dr. Karl Marx Silva Garcez

Aprovada em: 06/05/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Karl Marx silva Garcez
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
(Presidente)

Prof. Dr. Antônio Pinto Neto
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
(Membro Interno)

Prof. Dr. Samir Silva Coutinho
Instituto Federal do Maranhão – IFMA
(Membro Externo)

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa Júnior, Gerson Gomes de.

DECAIMENTOS RADIOATIVOS:DESENVOLVIMENTO DE UMA
SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NA EDUCAÇÃO
BÁSICA GUIADA PELO CONCEITO DE ZONA DE DESENVOLVIMENTO
PROXIMAL. : dESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA GUIADA PELO
CONCEITO DE ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL / Gerson
Gomes de Sousa Júnior. - 2025.

80 f.

Orientador(a): Karl Marx Silva Garcez.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís - Ma, 2025.

1. Decaimentos Radioativos. 2. Sequência Didática. 3.
Ensino de

Resumo

Este trabalho tem como foco a investigação sobre a eficácia de uma sequência didática voltada para o ensino de decaimentos radioativos, fundamentada nos princípios da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de Vygotsky. A proposta visa contribuir para o entendimento dos processos radioativos entre estudantes do ensino fundamental, enfatizando como o aprendizado pode ser potencializado quando ocorre com suporte pedagógico adequado, seja por meio do instrutor ou de interações colaborativas entre os colegas. A ZDP é utilizada como uma lente teórica para guiar a sequência didática, estabelecendo atividades que consideram o nível atual de compreensão dos alunos e os desafiam a progredir em direção a níveis mais avançados. A sequência didática foi cuidadosamente planejada para incluir atividades práticas e interativas que promovem a reflexão individual e a construção coletiva do conhecimento. Dentro do conteúdo proposto, os alunos exploram conceitos como os decaimentos alfa, beta e gama, além do conceito de meia-vida. Este processo também conta com recursos visuais e simulações, além de questionários objetivos em diferentes fases da sequência (prévios, intermediários e finais), que ajudam a monitorar o progresso dos alunos e a adaptação dos métodos pedagógicos conforme necessário. O estudo segue uma abordagem metodológica mista, que combina análises qualitativas e quantitativas para obter uma visão abrangente dos resultados. A análise quantitativa envolve o cálculo de médias, porcentagens e desvio padrão nas respostas dos questionários, permitindo uma avaliação precisa do progresso dos alunos. Por outro lado, a análise qualitativa explora as percepções dos estudantes sobre a própria aprendizagem, oferecendo uma compreensão mais rica de como os conceitos foram assimilados ao longo do processo. Os resultados obtidos demonstraram um aumento significativo no número de acertos dos alunos entre o questionário prévio e o questionário final, evidenciando a eficácia da sequência didática aplicada. Além disso, esse progresso indica que a atuação na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) foi essencial para a superação de dificuldades iniciais, contribuindo para um aprendizado mais duradouro e significativo de conteúdos complexos no ensino de Ciências.

Palavras-chave: Decaimentos radioativos; Sequência didática; Ensino de Ciências.

Abstract

This dissertation focuses on investigating the effectiveness of a didactic sequence aimed at teaching radioactive decay, based on Vygotsky's principles of the Zone of Proximal Development (ZPD). The proposal seeks to contribute to the understanding of radioactive processes among elementary school students, emphasizing how learning can be enhanced when supported by appropriate pedagogical guidance, whether through the instructor or through collaborative peer interactions. The ZPD is used as a theoretical lens to guide the didactic sequence, establishing activities that take into account the students' current level of understanding and challenge them to progress toward more advanced levels. The didactic sequence was carefully planned to include practical and interactive activities that promote individual reflection and collective knowledge construction. Within the proposed content, students explore concepts such as alpha, beta, and gamma decay, in addition to the concept of half-life. This process also includes visual resources and simulations, as well as objective questionnaires administered at different stages of the sequence (initial, intermediate, and final), which help monitor student progress and adapt pedagogical methods as needed. The study follows a mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative analyses to obtain a comprehensive view of the results. The quantitative analysis involves calculating means, percentages, and standard deviations from the questionnaire responses, allowing for an accurate assessment of student progress. On the other hand, the qualitative analysis explores students' perceptions of their own learning, providing a deeper understanding of how the concepts were assimilated throughout the process. The results showed a significant increase in the number of correct answers between the initial and final questionnaires, demonstrating the effectiveness of the applied didactic sequence. Furthermore, this progress indicates that acting within the Zone of Proximal Development (ZPD) was essential for overcoming initial difficulties, contributing to more lasting and meaningful learning of complex content in science education.

Keywords: Radioactive decay; Didactic sequence; Science teaching.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de toda sabedoria e força, agradeço pelo dom da vida, pela luz nos momentos de incerteza e pela serenidade nos dias de dificuldade. Sem a Sua presença constante, esta caminhada não teria sido possível.

Agradeço, ainda, aos meus pais, que são o solo firme onde plantei meus sonhos e a luz que guiou meus passos. O amor, a dedicação e os ensinamentos de vocês foram sementes que germinaram em cada conquista desta jornada. Tudo o que sou carrega a marca da força e da ternura que sempre encontrei em casa.

Ao meu irmão mais velho, agradeço por ser farol em meio às incertezas, exemplo de perseverança e conselheiro nas horas de dúvida. Sua presença sempre me lembrou que não caminho sozinho.

Ao meu irmão mais novo, agradeço por ser a brisa leve nos dias pesados, pela alegria espontânea que me recorda que a vida, mesmo em meio às responsabilidades, também é feita de riso e esperança.

À minha noiva, companheira de todos os instantes, agradeço pelo amor que me sustenta e pelo olhar que sempre enxergou em mim forças que às vezes eu mesmo duvidei possuir. Sua paciência, carinho e confiança foram o porto seguro onde encontrei coragem para seguir em frente.

A cada um de vocês, dedico estas páginas, pois este trabalho não é apenas fruto do meu esforço, mas também reflexo do apoio, da inspiração e do amor incondicional que sempre recebi da minha família.

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

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Radiotividade.....	14
2.1. Propriedades dos núcleos.....	15
2.2. Classificação dos nuclídeos.....	16
2.3. Descoberta da radioatividade.....	17
2.4. Decaimento alfa.....	19
2.5. Decaimento beta.....	20
2.6. Decaimento gama.....	22
2.7. Tempo de meia vida de amostras radioativas.....	23
3. Zona de desenvolvimento proximal.....	28
4. Sequência didática.....	35
5. Aplicação da sequência didática.....	40
5.1. Ambiente Escolar.....	40
5.2. Relato da Aplicação.....	40
5.3. Análise de Resultados.....	43
6. Conclusão.....	58

Referências Bibliográficas.....	61
Apêndice A.....	64
Apêndice B.....	65

1. INTRODUÇÃO

A Física Nuclear é uma área fundamental da Ciência que investiga a estrutura, propriedades e transformações dos núcleos atômicos (TIPLER, 2009). Os decaimentos radioativos, processos pelos quais um núcleo instável emite partículas ou radiação para se transformar em um núcleo mais estável, são fenômenos centrais nesse campo de estudo (KRANE, 1989). Entre os tipos mais conhecidos de decaimento estão o alfa, beta e gama, cada um com características e implicações distintas. Esses processos não apenas elucidam aspectos essenciais da matéria e energia, mas também têm aplicações práticas em áreas como a medicina nuclear, a geração de energia e a datação de materiais geológicos e arqueológicos (KRANE, 1989). Apesar de sua importância, o ensino de Física Nuclear, particularmente dos decaimentos radioativos, enfrenta desafios significativos devido à complexidade e abstração dos conceitos envolvidos.

Historicamente, a Física Nuclear teve suas raízes estabelecidas no final do século XIX e início do século XX, com contribuições significativas de cientistas como Henri Becquerel, Marie Curie e Ernest Rutherford. Becquerel descobriu a radioatividade acidentalmente em 1896, ao observar que sais de urânio podiam escurecer placas fotográficas mesmo sem exposição à luz (TIPLER, 2009). Marie Curie, juntamente com seu marido Pierre Curie, aprofundou a pesquisa sobre os materiais radioativos, levando à descoberta dos elementos polônio e rádio. A dedicação de Marie Curie à pesquisa, mesmo em face de adversidades pessoais e profissionais, solidificou seu papel como uma das figuras mais importantes na história da ciência. A descoberta da radioatividade e a subsequente pesquisa feita pelos Curie abriram caminho para uma nova compreensão dos átomos e suas propriedades.

Ernest Rutherford, em suas investigações sobre a radiação, identificou e nomeou os diferentes tipos de radiação emitidos por elementos radioativos, estabelecendo as bases para o estudo dos decaimentos alfa, beta e gama. Em 1911, Rutherford propôs o modelo nuclear do átomo, que descrevia o núcleo pequeno e denso, rodeado por elétrons, revolucionando a Física e pavimentando o caminho para o desenvolvimento da mecânica quântica (TIPLER, 2009). Seu trabalho foi fundamental para a formulação das teorias modernas de Física Nuclear e suas aplicações práticas.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), a Física Nuclear está presente na componente curricular de Ciências do 9º ano (área de

conhecimento das Ciências da Natureza). Especificamente na unidade temática de Matéria e Energia, sendo distribuído nos objetos de conhecimento: Estrutura da matéria; Radiações e suas aplicações na saúde. Nesse contexto, o estudo destes objetivos de conhecimento capacita os alunos a avaliar e tomar decisões conscientes sobre temas como segurança nuclear, medicina e meio ambiente, aspectos essenciais na sociedade atual. No entanto, o ensino desse tema no nível de educação básica muitas vezes não desperta o interesse necessário, em parte devido à forma como o conteúdo é tradicionalmente apresentado. Assim, existe uma necessidade premente de métodos de ensino que possam tornar o aprendizado mais acessível e engajante para os educandos.

Uma abordagem promissora para enfrentar esse desafio é a utilização de sequências didáticas estruturadas, que organizam o ensino em etapas progressivas e inter-relacionadas. Inspirada nas ideias de Antoni Zabala, a sequência didática busca articular o ensino de forma lógica e coerente, promovendo a construção de conhecimentos significativos pelos alunos (ZABALA, 1998). Além disso, a incorporação do conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), proposto por Lev Vygotsky, pode ser particularmente eficaz (VYGOTSKY, 2007). A ZDP refere-se à distância entre o que o aluno consegue realizar de forma independente e o que ele pode alcançar com a assistência de um professor ou de pares mais experientes. Ao explorar essa abordagem, a presente pesquisa propõe um método de ensino que respeite as particularidades do aprendizado de cada estudante, incentivando a participação ativa e colaborativa no processo educacional.

No estado da arte sobre o ensino de física e, observamos uma crescente valorização de metodologias que priorizem o aprendizado ativo e contextualizado (SOUZA, 2018). Estudos recentes destacam a eficácia de abordagens que envolvem simulações computacionais e atividades práticas, que permitem aos alunos visualizar fenômenos complexos e aplicar conceitos teóricos em situações reais (SOUZA, 2018). Por exemplo, plataformas digitais interativas, como o PHET Colorado e o Geogebra, têm se mostrado ferramentas valiosas para a demonstração de decaimentos radioativos, permitindo que os estudantes manipulem variáveis e observem os efeitos em tempo real. Tais abordagens não apenas aumentam a compreensão conceitual, mas também estimulam o interesse e a motivação dos alunos.

A implementação de atividades práticas e simulações tem sido amplamente estudada e recomendada por diversos pesquisadores. É notório que a utilização de

experimentos e demonstrações práticas no ensino de física pode facilitar a compreensão de conceitos abstratos, tornando-os mais concretos e palpáveis para os alunos. Além disso, a integração de simulações computacionais no currículo de ciências e física permite aos alunos explorar e experimentar com fenômenos que seriam de outra forma inacessíveis no ambiente de sala de aula, como os processos de decaimento radioativo.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar uma sequência didática sobre decaimentos radioativos, fundamentada no conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal. Buscamos promover um aprendizado significativo, no qual os alunos possam não apenas compreender os processos de decaimento, mas também apreciar suas aplicações e implicações no mundo real. Para alcançar esse objetivo, a pesquisa se propõe a integrar atividades práticas, como simulações, com a exploração teórica dos conceitos, sempre considerando a ZDP como guia para a mediação pedagógica.

A escolha dos decaimentos radioativos como foco da sequência didática justifica-se por sua relevância tanto do ponto de vista científico quanto social. O entendimento desses processos é fundamental para a formação de indivíduos capazes de lidar criticamente com questões relacionadas à energia nuclear, segurança e inovação tecnológica. Além disso, a pesquisa visa contribuir para o campo da educação em ciências, oferecendo um modelo de ensino que possa ser adaptado e aplicado a outros temas dentro da Física e de outras disciplinas.

Além disso, a introdução de atividades de avaliação diagnóstica, formativa e somativa, alinhadas com os princípios da ZDP, permite identificar as necessidades e progressos dos alunos, ajustando as estratégias pedagógicas para maximizar a aprendizagem. A utilização de questionários, exercícios práticos e discussões em grupo são ferramentas essenciais para monitorar e promover o desenvolvimento cognitivo dos estudantes ao longo da sequência didática.

Dessa forma, este trabalho está estruturado em seis partes principais que dialogam entre si para fundamentar e analisar a proposta desenvolvida. Primeiramente, são apresentados os aspectos teóricos e conceituais relacionados à física dos decaimentos radioativos, com ênfase nos tipos de radiações, no tempo de meia-vida e em suas aplicações. Em seguida, discute-se a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) como base teórica para o processo de ensino e aprendizagem. Na sequência, detalha-se as características teóricas da formação e importância do uso de sequências

didáticas, destacando seus objetivos, métodos e recursos utilizados. Posteriormente, descreve-se a aplicação prática da sequência com os alunos, incluindo as estratégias adotadas em sala de aula. Na parte seguinte, apresentam-se os resultados obtidos, por meio da análise dos dados coletados com os instrumentos avaliativos aplicados. Por fim, a conclusão reúne as principais reflexões sobre o percurso realizado, os avanços observados durante o desfecho do trabalho.

2. RADIOATIVIDADE

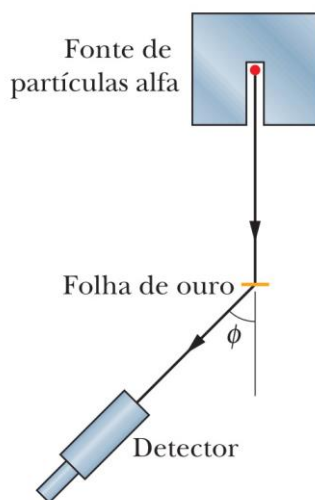
As primeiras evidências experimentais da existência do núcleo foram obtidas entre 1910 e 1911, por Ernest Rutherford e dois de seus alunos, Hans Geiger e Ernest Marsden. O elétron havia sido descoberto por J.J. Thomson, em 1897. Por volta de 1910, suas massa e carga eram bem conhecidas. Naquela época estava bem estabelecido que, com a única exceção do hidrogênio, todos os átomos continham mais de um elétron. Thomson havia proposto um modelo atômico consistindo numa esfera relativamente grande de carga positiva, dentro da qual estavam os elétrons como ameixas em um pudim (SEARS,1985). Este modelo também ficou conhecido como "pudim de passas".

Em seu experimento, Rutherford e seus colaboradores projetaram partículas alfa em direção aos átomos sob investigação. Tais partículas utilizadas eram produzidas pela radioatividade natural, uma vez que algumas desintegrações radioativas resultam na emissão de partículas alfa. Estas partículas, atualmente, são consideradas como idênticas ao núcleo de átomos de Hélio, consistindo em dois prótons e dois nêutrons ligados, mas sem os elétrons normalmente presentes no átomo de Hélio neutro. As partículas alfa são ejetadas de núcleos instáveis com velocidade da ordem de 10^7 m/s, podendo percorrer vários centímetros através do ar, ou da ordem de 0,1 mm através da matéria sólida, antes de se imobilizarem por colisões sucessivas. Através da observação do modo como as partículas projetadas eram defletidas, eles tiraram conclusões a respeito da distribuição da carga dentro dos átomos sobre os quais as partículas eram lançadas (SEARS,1985).

O arranjo experimental consiste em uma fonte radioativa emissora de partículas alfa. Espessas chapas de chumbo barram todas as partículas exceto as existentes em um estreito feixe, delimitados por pequenos orifícios nas chapas. O feixe passa, então, através de uma folha metálica fina (foram usados ouro, prata e cobre), atingindo uma placa coberta por uma camada de sulfeto de zinco. Quando esta recebe o choque de uma partícula alfa, pode-se observar um brilho ou uma cintilação momentânea na tela. Desta forma, é possível determinar o número de partículas defletidas através de qualquer ângulo em relação à sua direção original. Os resultados experimentais obtidos por Rutherford não correspondiam com o que previa o modelo de Thomson. Em particular, um número maior de partículas que o previsto se espalhou sobre grandes ângulos

grandes. E para justificar o espalhamento sob grandes ângulos, Rutherford concluiu que a carga positiva, em vez de ser distribuída em uma esfera de dimensões atômicas estava concentrada em volume muito menor, o chamado núcleo atômico (SEARS, 1985)

Figura 1: Arranjo experimental (visto de cima) usado no laboratório de Rutherford para estudar o espalhamento de partículas alfa por folhas finas de metal.



Fonte: Halliday (2009)

No arranjo experimental, a posição do detector pode ser ajustada para vários valores do ângulo de espalhamento. A fonte de partículas α era o gás radônio, um produto do decaimento do rádio.

2.1. PROPRIEDADES DOS NÚCLEOS

O núcleo, como o átomo, não é um corpo sólido, com uma superfície bem definida. Além disso, embora muitos núcleos sejam esféricos, outros têm a forma de um elipsóide (HALLIDAY, 2009). Mesmo assim, os experimentos de espalhamento de elétrons (e outros tipos de experimentos) permitem atribuir a cada núclídeo um raio efetivo dado pela equação empírica,

$$r = r_0 A^{1/3} \quad (2.1)$$

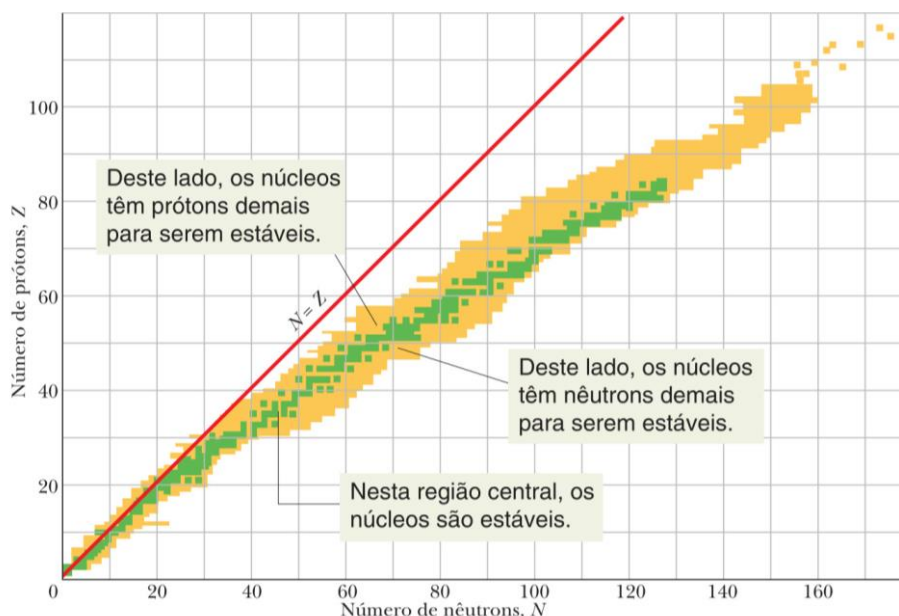
onde r_0 é uma constante empírica igual a $1,2 \cdot 10^{-15} m$, válida para todos os núcleos e A representa a soma do número total de nêutrons e prótons. Uma vez que o volume da esfera é proporcional a r^3 , equação (2.1) mostra que o volume do núcleo é proporcional a sua massa e consequentemente a massa por unidade de volume é a mesma para todos os núcleos, ou seja, todos os núcleos possuem aproximadamente a mesma densidade (SEARS, 1985).

Os nuclídeos com o mesmo número atômico Z e diferentes números de nêutrons N são chamados de isótopos. O elemento ouro possui 32 isótopos, que vão desde o ^{173}Au até o ^{204}Au . Apenas um desses nuclídeos é estável, os outros 31 são radioativos. Esses radionuclídeos sofrem um processo espontâneo de decaimento (ou desintegração) no qual emitem uma ou mais partículas e se transformam em um nuclídeo diferente. (HALLIDAY, 2009):

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS NUCLÍDEOS

Os átomos neutros de todos os isótopos de um elemento (para os quais, por definição, o valor de Z é o mesmo) possuem o mesmo número de elétrons, as mesmas propriedades químicas e ocupam a mesma posição na tabela periódica dos elementos. Contudo, as propriedades nucleares dos isótopos de um elemento podem ser muito diferentes. Assim, a tabela periódica é de pouca valia para os físicos nucleares, químicos nucleares e engenheiros nucleares. Os nuclídeos podem ser organizados em uma carta de nuclídeos como a da Figura 1, na qual um nuclídeo é representado através de um par de coordenadas, uma para o número de prótons e outra para o número de nêutrons. Os nuclídeos estáveis estão representados em verde e os nuclídeos radioativos em amarelo. Como se pode ver, os radionuclídeos estão acima, abaixo e à direita de uma faixa bem definida de nuclídeos estáveis. (HALLIDAY, 2009). Vale destacar que não se observa núcleo estável com $A = 5$ ou $A = 8$. Observa-se ainda que os pontos que representam isótopos estáveis definem uma estreita região de estabilidade. Para pequenos números de massa, $N/Z = 1$. Essa razão cresce e atinge cerca de 1,6 para grandes números de massa. A estabilidade dos núcleos pode ser entendida qualitativamente com base na natureza da força nuclear e na competição entre a força nuclear atrativa e a força elétrica repulsiva.

Figura 2: Gráfico da relação entre o número de prótons (Z) e o número de nêutrons (N) para diferentes núcleos atômicos.



Fonte: Halliday (2009)

Na figura 1, a cor verde indica os nuclídeos estáveis e a cor amarela indica os nuclídeos radioativos. Os nuclídeos estáveis de pequena massa têm aproximadamente o mesmo número de nêutrons e prótons, enquanto os nuclídeos pesados têm um excesso de nêutrons. Pode-se observar que não existem nuclídeos estáveis com $Z > 83$ (bismuto).

2.3. DESCOBERTA DA RADIOTIVIDADE

A história do estudo da radioatividade tem início a partir de 1896, ano em que o físico francês Antonie Henri Becquerel (1852-1908) observou que, um pacote de chapas fotográficas virgens, após serem deixadas despretensiosamente nas proximidades de um pedaço de minério de urânio, pareciam já terem sofrido uma exposição à luz (impressionados/manchados), apesar de estarem completamente protegidas por papel negro e dentro de uma gaveta longe de qualquer forte exposição à radiação eletromagnética. Após algumas investigações, Becquerel concluiu que a exposição das

chapas ocorrera devido às radiações emitidas a partir da porção de minério (CARRON, 2002).

Os estudos iniciais sobre radioatividade foram realizados pelo casal de cientistas Pierre (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934), o termo “radioatividade” foi utilizado pela primeira vez por Marie Curie. Em 1898 o casal obteve êxito em separar 1g de uma substância radioativa desconhecida a partir de 1 *tonelada* de minério. Essa substância ficou conhecida como polônio ($Z = 84$), em homenagem a Marie Curie, que era polonesa (CARRON, 2002). Por seu trabalho juntamente com Becquerel, o casal Curie recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1903. Em 1911, Marie Curie recebeu o Prêmio Nobel de Química pela descoberta de outro elemento radioativo, o rádio ($Z = 88$) (GASPAR, 2009).

Com os avanços nos estudos da radioatividade dos elementos, uma nova grandeza física fora estabelecida, a Atividade Radioativa (A_R) que é definida como número de desintegrações nucleares por unidade de tempo. No Sistema Internacional (SI) a unidade de medida da Atividade Radioativa é o becquerel (Bq), em homenagem a Antonie Henri Becquerel o descobridor da radioatividade, que corresponde a um decaimento por segundo (TIPLER, 2009):

$$1Bq = 1 \text{ decaimento}/s. \quad (2.2)$$

Outra unidade também bastante utilizada é o curie (Ci), que corresponde à Atividade Radioativa inicial de 1g do elemento rádio purificado e corresponde a $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegrações por segundo. Portanto (TIPLER, 2009):

$$1 Ci = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ decaimentos } /s = 3,7 \cdot 10^{10} Bq. \quad (2.3)$$

A emissão radioativa é um processo estatístico, ou seja, não há meios de prever com exatidão qual será o próximo núcleo a sofrer um decaimento - a probabilidade de decaimento é a mesma para todos os núcleos de um mesmo isótopo radioativo (EISBERG, 1979).

Um dos principais objetivos dos estudos de decaimentos de núclídeos radioativos é obter informações a respeito das estruturas dos núcleos, da natureza da interação nuclear forte e das propriedades das partículas elementares (TIPLER, 2014).

No estudo da radioatividade existem três tipos mais comuns de decaimentos a serem compreendidos, são eles: o decaimento alfa (α), o decaimento beta (β) e o decaimento gama (γ). Como veremos a seguir na próxima seção.

2.4. DECAIMENTO ALFA (α)

Muitos núcleos apresentam a característica de serem radioativos, isto é, eles decaem em outros núcleos, ou versões mais estáveis do mesmo núcleo, através da emissão de partículas como fótons (γ), no decaimento gama, elétrons (e^-) ou pósitrons (e^+), no decaimento beta, ou ainda de partículas alfa (α), no decaimento alfa (KRANE, 1989)

O decaimento alfa, ou radiação alfa, é um processo físico espontâneo no qual um núcleo não estável de algum elemento químico muito pesado ($Z \geq 83$), na tentativa de entrar em equilíbrio, emite parte de sua massa na forma de uma partícula alfa. Dessa maneira, o núcleo emissor (pai) decai gerando o núcleo de um novo elemento (filho) mais uma partícula alfa (TIPLER, 2009).

A partir de estudos experimentais, pôde-se compreender que as partículas α , de carga elétrica efetiva igual a duas vezes o valor da carga elétrica elementar e massa atômica igual a quatro unidades de massa atômica – *u.m.a.*, podendo serem representadas por ${}^4_2\alpha$, correspondem a um núcleo de hélio ($Z = 2$) duplamente ionizado, ${}^4_2\text{He}^{2+}$ (EISBERG, 1979).

De maneira genérica pode-se escrever uma equação característica para representar as reações de decaimento alfa, como sendo:



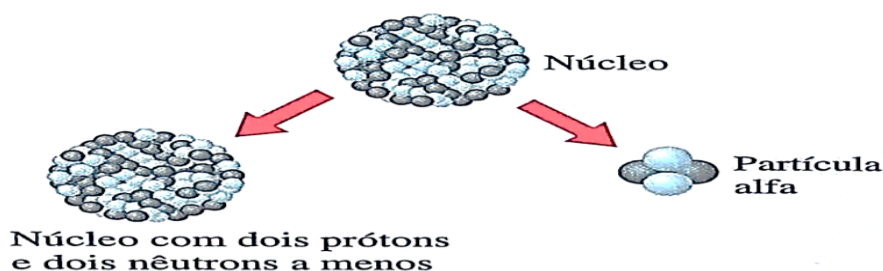
Analisando a equação (2.5) pode-se concluir que quando um núcleo emite uma partícula alfa, N e Z diminuem de duas unidades cada um e A sofre uma diferença de quatro unidades. O filho de um núcleo radioativo é frequentemente, ele mesmo, um núcleo radioativo e pode vir a sofrer um decaimento alfa, beta ou ambos (TIPLER, 2009).

Um exemplo de um emissor alfa é o urânio-238, $^{238}_{92}\text{U}$, que ao sofrer um decaimento alfa transforma-se no elemento tório-234, $^{234}_{90}\text{Th}$, de modo que podemos escrever a sua equação de decaimento como (CARRON, 2002):



As partículas α são importantes personagens na evolução da Física e no estudo da estrutura da matéria, pois a partir da utilização delas, em experimentos de espalhamentos, Rutherford conseguiu demonstrar a descoberta do núcleo atômico, o que fez com que a Física sofresse uma grande evolução com a consolidação de dois novos ramos de estudos para os físicos sendo eles a Física Nuclear e a Física de Partículas.

Figura 3: Representação de um decaimento alfa.



Fonte: Carron, 2002.

2.5. DECAIMENTO BETA (β)

Assim como o decaimento alfa, o decaimento beta ou radiação beta, também é um processo espontâneo de busca, por parte de um núcleo instável, de um estado de energia mais favorável – estado de equilíbrio. Existem dois tipos distintos de decaimento beta, o decaimento β^- e o decaimento β^+ , cada um com suas particularidades, referentes aos tipos de partículas envolvidas na reação, porém seguindo processos com alto grau de semelhança (KRANE, 1989).

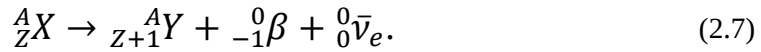
Um decaimento beta ocorre sempre que há excesso ou falta de nêutrons para a devida estabilidade nuclear. Durante um decaimento beta, o número de massa (A) do

núcleo que sofre o decaimento permanece constante, porém seu número atômico (Z) sofre alteração podendo ser aumentado em uma unidade, decaimento β^- , ou um decréscimo em uma unidade, decaimento β^+ (TIPLER, 2009).

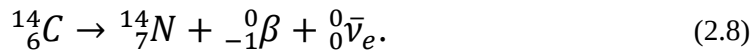
No decaimento β^- , também chamado de processo nuclear de emissão de elétron, um núcleo não estável por excesso de nêutrons transforma-se em um novo núcleo de número atômico $Z' = Z + 1$, e massa (A) constante, onde Z é número atômico do núcleo pai, e Z' é o número atômico do núcleo filho que fatalmente pertence a outro elemento (EISBERG, 1979; TIPLER, 2009). Durante a reação de decaimento um nêutron do núcleo emite ao meio uma partícula beta menos ${}_{-1}^0\beta$, que corresponde a um elétron ${}_{-1}^0e$, e um antineutrino do elétron ${}^0_0\bar{\nu}_e$, transmutando-se em um próton, 1_1p , segundo a seguinte reação (HALLIDAY, 2011):



De acordo com as evidências do processo radioativo, pode-se, de maneira genérica, escrever uma equação característica para representar as reações de decaimento β^- , como sendo:



Como exemplo, para esse tipo de decaimento, podemos citar o decaimento de um núcleo de carbono – 14 decaindo em núcleo de nitrogênio:



O segundo tipo de decaimento beta, o decaimento β^+ , ocorre devido à falta de nêutrons para coesão da estabilidade nuclear. Nessa versão do decaimento beta o número de massa (A) do núcleo que sofre o decaimento também permanece constante, porém seu número atômico (Z) sofre a alteração de uma unidade de diferença fazendo com que o número atômico (Z') do novo núcleo após o decaimento seja $Z' = Z - 1$. Durante a reação de decaimento um próton do núcleo emite ao meio uma partícula beta mais ${}^0_1\beta$, que corresponde a um pósitron 0_1e – a antipartícula do elétron com mesma

massa, porém carga elétrica oposta – e um neutrino do elétron ${}^0_0\nu_e$, transmutando-se em um nêutron, 1_0n , segundo a seguinte equação de decaimento (HALLIDAY, 2011):

$${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}\beta + {}^0_0\nu_e \quad (2.9)$$

Em consonância com as evidências do processo radioativo pode-se então, de maneira genérica, escrever uma equação característica para a representação das reações de decaimento β^+ , como sendo:

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}\beta + {}^0_0\nu_e \quad (2.10)$$

Como exemplo, para esse tipo de decaimento, podemos citar o decaimento de um núcleo de flúor – 18 decaindo em núcleo de oxigênio:

$${}^{18}_9F \rightarrow {}^{18}_8O + {}^0_{+1}\beta + {}^0_0\nu_e \quad (2.11)$$

2.6. DECAIMENTO GAMA (γ)

Um terceiro processo espontâneo de decaimento radioativo é conhecido como decaimento gama, este é o mais energético em comparação com os anteriormente citados. No decaimento gama, um núcleo que a priori se encontrava em um estado de energia excitado decai para um estado de menor energia do mesmo isótopo emitindo um fóton de alta frequência ou alta energia (TIPLER, 2014). Este processo é o equivalente nuclear da emissão espontânea de fótons por átomos ou moléculas (TIPLER, 2009).

A equação característica que rege o comportamento das reações de decaimento gama pode ser escrita da seguinte maneira:

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_ZX + {}^0_0\gamma \quad (2.12)$$

Diferentemente do decaimento alfa ou do decaimento beta, nem o número de massa, nem o número atômico, variam em um decaimento gama; além disso, os

decaimentos alfa e beta são frequentemente seguidos por um ou uma cascata decaimentos gama. Por exemplo, se um núcleo pai radioativo sofre decaimento beta para um estado excitado de um núcleo filho, este núcleo, por sua vez então, decai para o seu estado fundamental por emissão gama. (TIPLER, 2009)

2.7. TEMPO DE MEIA VIDA DE AMOSTRAS RADIOATIVAS

Meia-vida é o intervalo de tempo necessário para que a quantidade de uma substância radioativa se reduza pela metade. Isso ocorre devido à desintegração da substância radioativa em outras substâncias. A meia-vida pode variar de alguns segundos até milhões de anos, dependendo do elemento radioativo em questão. A compreensão do conceito de meia-vida é importante para aplicações na medicina nuclear, na arqueologia e na indústria nuclear (EISBERG, 1979).

Além disso, a meia-vida também é utilizada para determinar a quantidade de uma substância radioativa em um determinado instante, conhecida como "atividade" e para calcular o período de armazenamento de materiais radioativos. Também é importante mencionar que a meia-vida dos materiais radioativos é utilizada para se determinar seu perigo potencial para a saúde humana e para o meio ambiente. O conhecimento da meia-vida dos materiais radioativos é crucial para a segurança e manuseio adequado desses materiais (EISBERG, 1979).

Em resumo, a meia-vida é um conceito fundamental na física e tem múltiplas aplicações em diferentes campos, desde a medicina e arqueologia até a indústria nuclear e armazenamento de resíduos radioativos (HALLIDAY, 2011).

Se considerarmos um sistema aleatório com diversos núcleos instáveis de um mesmo elemento que possam sofrer uma desexcitação por qualquer um dos três tipos de decaimentos radioativos, podemos calcular, sabendo que a quantidade de núcleos que ainda não decaíram em um dado instante t é N , a taxa com que uma quantidade infinitesimal da amostra, dN , sofre decaimento em um dado instante dt (EISBERG, 1979).

Embora seja impossível prever quais serão os núcleos a decair, podemos dizer que a taxa de decaimento dos núcleos, dN/dt , é proporcional a N ; e devido ao fato de que esta variação configura uma redução da amostra analisada deve-se transformar esta proporcionalidade em uma igualdade da seguinte maneira (HALLIDAY, 2011):

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N, \quad (2.13)$$

onde λ , denominada constante de desintegração ou constante de decaimento, tem um valor diferente para cada radionuclídeo – no SI sua unidade tem dimensão de inverso de tempo – e o sinal negativo está relacionado à redução da amostra.

Para calcularmos a solução dessa equação diferencial ordinária, determinando N como uma função do tempo t , lançaremos mão do método de separação de variáveis escrevendo,

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt, \quad (2.14)$$

integrando ambos os membros, temos,

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt \quad (2.15)$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda(t - t_0), \quad (2.16)$$

tomando a exponencial em ambos os lados e considerando $t_0 = 0$, temos:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.17)$$

A equação (2.17) é fundamental na compreensão do fenômeno de decaimento radioativo, pois descreve como a quantidade de material radioativo remanescente, representada por N no tempo t , está relacionada à quantidade inicial N_0 por meio de uma função exponencial.

Essencialmente, quando um material radioativo sofre decaimento, a taxa de diminuição da quantidade remanescente ao longo do tempo não é constante. Pelo contrário, é proporcional à quantidade restante. Isso significa que, à medida que o tempo avança, a taxa de decaimento diminui à medida que a quantidade de material diminui.

A constante de decaimento λ desempenha um papel crucial nesse processo. Ela determina a rapidez com que a quantidade de material radioativo diminui. Quanto maior

o valor de λ , mais rápida será a taxa de decaimento. Assim, a equação sugere que a taxa de decaimento e a quantidade de material radioativo são intrinsecamente conectadas, e essa relação é governada pela constante λ (EISBERG, 1979).

É importante destacar que essa equação é amplamente utilizada em uma variedade de campos, incluindo física nuclear, medicina, arqueologia e geologia. Ela permite calcular a idade de materiais antigos, entender o comportamento de isótopos radioativos em diferentes condições ambientais e até mesmo prever a atividade de substâncias radioativas em processos industriais e médicos. Em resumo, essa equação é uma ferramenta poderosa que nos permite entender e quantificar o fenômeno complexo do decaimento radioativo (EISBERG, 1979).

Frequentemente estamos mais interessados na taxa de decaimento, também conhecida como atividade radioativa, $A_R (= -dN/dt)$, do que no valor de N ; sendo assim, derivando a equação (2.17) em relação ao tempo, obtemos:

$$A_R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.18)$$

ou ainda,

$$A_R = A_{R_0} e^{-\lambda t} \quad (2.19)$$

A equação (2.19) pode ser considerada uma forma alternativa da lei do decaimento radioativo, nela o termo A_{R_0} representa a taxa de decaimento no instante $t = 0$ e A_R representa a taxa de decaimento no instante $t > 0$. Podemos, portanto, reescrever a equação (2.13) em termos da taxa de decaimento A_R da amostra:

$$A_R = \lambda N, \quad (2.20)$$

onde A_R e N , o número de núclídeos radioativos que ainda não decaíram, devem ser calculados ou medidos para o mesmo valor de t .

Existem duas medidas principais do tempo de sobrevivência de um tipo particular de radionuclídeo. Uma dessas medidas é a meia-vida $T_{1/2}$ de um radionuclídeo, que é tempo necessário para que A_R e N caiam à metade do valor inicial;

a outra é a vida média τ , que é o tempo necessário para que A_R e N caiam a $1/e$ do valor inicial. (HALLIDAY, 2011)

Para determinar a relação entre o tempo de meia-vida $T_{1/2}$ e a constante de desintegração λ , utilizamos a equação (2.19) que descreve o decaimento radioativo. Substituímos t por $T_{1/2}$ após dividir a atividade inicial A_{R_0} pela metade, $A_R = A_{R_0}/2$, resultando na seguinte equação:

$$\frac{1}{2}A_{R_0} = A_{R_0}e^{-\lambda T_{1/2}}. \quad (2.21)$$

Ao aplicar o logaritmo natural em ambos os membros da equação e isolando $T_{1/2}$, chegamos a:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.22)$$

Essa expressão é essencial para entender a relação entre a taxa de decaimento e o tempo necessário para que a atividade de um material radioativo seja reduzida à metade.

Da mesma forma, para relacionar o tempo de vida médio τ com λ , dividimos a atividade inicial A_{R_0} por e na equação (2.19). Substituímos t por τ e isolamos τ , resultando em:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.23)$$

Essas equações são essenciais para compreender a cinética do decaimento radioativo e estabelecem a base para determinar o tempo necessário para a desintegração de uma quantidade específica de material radioativo. Esses resultados podem ser resumidos da seguinte forma:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2. \quad (2.24)$$

Para ilustrar a diversidade dos tempos de meia-vida de diferentes elementos radioativos, apresentamos na tabela 1 com alguns isótopos com seus respectivos tempos de meia-vida. Esses valores são fundamentais para várias aplicações, incluindo datação

de materiais arqueológicos, previsão de atividade radioativa em processos industriais e determinação da segurança de materiais nucleares.

Tabela 1: Tempo de meia-vida de alguns isótopos radioativos.

RADIOISÓTOPOS	TEMPO DE MEIA-VIDA
${}_{92}\text{U}^{238}$	4,5 bilhões de anos
${}_{19}\text{K}^{40}$	1,3 bilhão de anos
${}_6\text{C}^{14}$	5730 anos
${}_{55}\text{Cs}^{137}$	30 anos
${}_{38}\text{Sr}^{90}$	28 anos
${}_{56}\text{Ba}^{140}$	13 dias
${}_{53}\text{I}^{131}$	8 dias
${}_{43}\text{Tc}^{99}$	6 horas
${}_{84}\text{Po}^{218}$	3 minutos
${}_{86}\text{Rn}^{220}$	55,6 segundos

Fonte: Apostila sobre datação isotópica. (UFC). Disponível em: <https://seara.ufc.br/pt/producoes/nossas-producoes-e-colaboracoes/secoes-especiais-de-ciencia-e-tecnologia/apostilas-eletronicas-da-d-fifi/apostilas-sobre-datacao-isotopica>. Acesso em: 09 maio. 2025.

3. ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL

A teoria da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), proposta pelo psicólogo russo Lev Vygotsky, é um conceito fundamental na psicologia educacional e do desenvolvimento. Vygotsky definiu a ZDP como a distância entre o nível de desenvolvimento real, determinado pela solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com pares mais capazes (VYGOTSKY, 2007). Essa definição sublinha a importância da interação social e da mediação no processo de aprendizagem, destacando que o desenvolvimento cognitivo não é apenas um processo individual, mas profundamente influenciado pelo contexto social e cultural.

Desenvolvida no início do século XX, a teoria da ZDP surgiu em um período de intensa pesquisa sobre os processos de aprendizagem e desenvolvimento. Vygotsky e seus colegas buscavam compreender como as funções mentais superiores se desenvolvem por meio das interações sociais e culturais. As ideias de Vygotsky foram influenciadas por diversas correntes teóricas, incluindo o marxismo, que enfatiza o papel da cultura e da sociedade na formação da mente humana (COLE E SCRIBNER, 1978).

De acordo com Cole e Scribner (1978), inicialmente, a obra de Vygotsky teve pouca influência fora da União Soviética. No entanto, a partir da década de 1960, suas ideias começaram a ganhar reconhecimento internacional, especialmente no campo da educação. A tradução de suas obras para o inglês e outros idiomas ocidentais foi um marco importante para a disseminação de suas teorias. Esse reconhecimento permitiu que educadores e psicólogos do desenvolvimento aplicassem seus conceitos em diversas práticas pedagógicas, ampliando o alcance e a relevância da ZDP em diferentes contextos culturais e educacionais.

A difusão das ideias de Vygotsky no Ocidente foi facilitada por um crescente interesse em abordagens educacionais que reconhecem a importância do contexto social e cultural na aprendizagem. Pesquisadores e educadores começaram a explorar como a ZDP poderia ser utilizada para desenvolver currículos mais responsivos às necessidades individuais dos alunos e às dinâmicas de sala de aula. Além disso, a integração das ideias de Vygotsky com outras teorias educacionais, como o construtivismo de Piaget e

o aprendizado cooperativo, contribuiu para uma compreensão mais abrangente dos processos de desenvolvimento e aprendizagem (COLE E SCRIBNER, 1978).

A mediação social é um componente de extrema importância para a teoria de Vygotsky. Ele argumenta que o aprendizado é primeiramente um processo social antes de se tornar um processo individual. As interações com adultos e colegas mais experientes proporcionam aos educandos oportunidades de internalizar novas habilidades e conhecimentos. Vygotsky enfatizou que a internalização ocorre quando uma criança consegue realizar uma tarefa de forma independente, após tê-la realizado com assistência (VYGOTSKY, 2007).

A importância da mediação social pode ser observada em diversos contextos educacionais. Em ambientes de sala de aula, por exemplo, os professores atuam como mediadores, oferecendo suporte e orientações que ajudam os alunos a avançarem em suas ZDPs. Além disso, a mediação não se limita apenas às interações diretas; materiais didáticos, tecnologias educacionais e recursos multimídia também podem servir como mediadores, facilitando a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo (COLE E SCRIBNER, 1978).

Além da interação social, Vygotsky (2007) destaca o papel das ferramentas culturais na mediação do desenvolvimento cognitivo. Essas ferramentas incluem a linguagem, sistemas de contagem, escrita, arte e outras formas de representação simbólica. A linguagem, em particular, é vista como a ferramenta cultural mais importante, pois facilita a comunicação e a internalização de conceitos abstratos. Vygotsky argumenta que o desenvolvimento do pensamento lógico nas crianças está intimamente ligado ao desenvolvimento da linguagem, evidenciando a importância das ferramentas culturais no processo de aprendizagem.

Ferramentas culturais também incluem práticas e tradições específicas de diferentes culturas. Em um contexto educacional multicultural, é essencial que os professores reconheçam e incorporem essas diversas ferramentas culturais para promover uma aprendizagem mais eficaz. (COLE E SCRIBNER, 1978). Por exemplo, a utilização de experimentos práticos e simulações em ciências, física e problemas matemáticos contextualizados pode enriquecer o processo educacional, tornando-o mais relevante e significativo para os alunos. Experimentos práticos e simulações em ciências e física permitem que os alunos explorem conceitos abstratos através de observações e manipulações concretas, enquanto problemas matemáticos contextualizados podem

ajudar os alunos a aplicar teorias matemáticas em situações do mundo real, facilitando uma compreensão mais profunda e uma maior conexão com o aprendizado.

A aplicação da ZDP na educação é vasta e variada. Professores podem utilizar o conceito para planejar atividades que desafiem os alunos dentro de sua ZDP, promovendo uma aprendizagem colaborativa, que exige participação ativa tanto dos educadores quanto dos estudantes. A pedagogia baseada na ZDP incentiva o uso de estratégias como o ensino colaborativo, onde alunos trabalham juntos para resolver problemas, e a tutoria entre pares, onde alunos mais experientes ajudam seus colegas.

No ensino colaborativo, os alunos trabalham em grupos para resolver problemas e completar tarefas, beneficiando-se das habilidades e conhecimentos uns dos outros. Esse método permite que alunos menos experientes aprendam com colegas mais experientes, expandindo sua ZDP através da colaboração e da discussão. Alguns trabalhos sugerem que o ensino colaborativo pode aprimorar significativamente a compreensão dos conteúdos e fomentar o desenvolvimento de habilidades sociais essenciais, entre eles pode-se destacar o Johnson e Johnson (1989) onde afirmam que o aprendizado cooperativo, onde os alunos trabalham juntos para alcançar objetivos comuns, resulta em melhor retenção de informações, maior engajamento e desenvolvimento de habilidades como comunicação, cooperação e resolução de conflitos.

Adicionalmente, Slavin (1995) destaca que os métodos cooperativos de aprendizagem não apenas melhoram o desempenho acadêmico, mas também aumentam a autoestima e a motivação dos alunos. Mais recentemente, Gillies (2016) confirmou que o ensino colaborativo pode levar a interações mais ricas e significativas entre os alunos, resultando em uma compreensão mais profunda dos materiais estudados e no desenvolvimento de habilidades sociais e emocionais.

Além disso, a interação entre pares possibilita a construção de um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e participativo, onde o conhecimento é construído de forma coletiva. O ensino colaborativo também promove o desenvolvimento de habilidades de comunicação e trabalho em equipe, que são essenciais para a vida fora do ambiente escolar. Ao trabalhar juntos para resolver problemas, os alunos aprendem a negociar, a respeitar diferentes pontos de vista e a construir soluções consensuais, habilidades que são valiosas tanto no contexto acadêmico quanto no profissional (COLE E SCRIBNER, 1978).

A tutoria entre pares é uma prática em que alunos mais avançados ajudam colegas que estão em estágios iniciais de aprendizagem. Essa interação não só beneficia o aluno tutorado, mas também reforça o conhecimento do tutor. A prática da tutoria entre pares baseia-se na ideia de que ensinar é uma forma poderosa de consolidar o próprio aprendizado (FUCHS et al., 1997). Pesquisas indicam que a tutoria entre pares pode melhorar significativamente o desempenho acadêmico, além de promover habilidades sociais e de liderança nos alunos tutores. Fuchs e colaboradores (1997) destacam que a tutoria entre pares proporciona oportunidades significativas para o desenvolvimento acadêmico e social, ajudando os tutores a consolidar seu conhecimento enquanto promovem a compreensão entre os alunos tutorados. Esse método não apenas eleva o desempenho acadêmico dos alunos, mas também fortalece suas habilidades interpessoais, preparando-os para ambientes colaborativos no futuro.

Assim também, Roscoe e Chi (2007) enfatizam que a prática da tutoria entre pares não só reforça o entendimento conceitual dos tutores, mas também promove o desenvolvimento de habilidades de liderança e comunicação. Esse desenvolvimento é fundamental para o sucesso educacional e profissional, pois permite que os alunos se tornem mais autônomos e eficazes em suas interações acadêmicas. A tutoria entre pares também contribui para a criação de uma comunidade de aprendizagem mais coesa e solidária. Ao ajudar seus colegas, os alunos desenvolvem um senso de responsabilidade e empatia, fortalecendo os laços sociais dentro da sala de aula. Essa prática também pode ser particularmente eficaz em contextos onde os recursos educacionais são limitados, permitindo que os alunos se apoiem mutuamente e maximizem as oportunidades de aprendizagem.

A teoria da ZDP sugere a necessidade de uma abordagem diferenciada no ensino, onde o professor deve ser capaz de identificar as necessidades individuais dos alunos e adaptar suas práticas pedagógicas para oferecer suporte adequado. Isso implica no uso de estratégias como o *scaffolding*, também conhecido como andaime, onde o professor fornece suporte temporário que é gradualmente retirado à medida que o aluno se torna mais independente.

O termo *scaffolding* refere-se ao suporte provisório oferecido pelos educadores para ajudar os alunos a realizarem tarefas dentro de sua ZDP. Esse suporte pode incluir pistas, dicas, questionamentos direcionados e outros recursos que auxiliam o aluno a progredir. À medida que o aluno desenvolve a competência necessária, o suporte é

gradualmente retirado, permitindo que ele se torne mais autônomo. Pesquisas demonstram que o *scaffolding* é uma técnica eficaz para promover a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo. Wood, Bruner e Ross introduziram o conceito de *scaffolding* como um suporte temporário que ajuda os alunos a realizarem tarefas que, de outra forma, seriam além de suas capacidades independentes. Eles afirmam que o *scaffolding* fornece suporte para que os aprendizes desenvolvam novas habilidades e conhecimentos, permitindo que alcancem níveis de compreensão que não seriam capazes de atingir sozinhos (WOOD, BRUNER E ROSS, 1976).

Em outro estudo, Van de Pol, Volman e Beishuizen destacam que o *scaffolding* é particularmente eficaz quando o suporte é ajustado ao nível de competência do aluno, permitindo que ele se envolva ativamente na resolução de problemas e construção de conhecimento (VAN DE POL, VOLMAN E BEISHUIZEN, 2010). Essa abordagem dinâmica e adaptativa não só apoia o desenvolvimento cognitivo, mas também estimula a autonomia e a confiança dos alunos.

O *scaffolding* pode ser aplicado de diversas formas, dependendo das necessidades e habilidades dos alunos. Por exemplo, um professor pode fornecer orientações claras e passos sequenciais para a resolução de um problema complexo, permitindo que os alunos desenvolvam suas habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas. Além disso, o *scaffolding* pode ser adaptado ao progresso individual de cada aluno, garantindo que todos tenham a oportunidade de alcançar seu potencial máximo de aprendizagem.

O conceito de *scaffolding*, onde o suporte é oferecido de forma gradual e adaptada às necessidades individuais dos alunos, é fundamental na aplicação da ZDP. Professores podem utilizar estratégias de *scaffolding* para guiar os alunos desde tarefas simples até desafios mais complexos em Física, permitindo que eles desenvolvam confiança e competência ao longo do tempo (WOOD, BRUNER E ROSS, 1976).

A visualização da ZDP no ensino de Ciências e Física enfatiza a importância da interação social e do suporte contextualizado no processo de aprendizagem. Conforme já apontado por Vygotsky (2007), a aprendizagem ocorre primeiramente em um contexto social, sendo a interação mediada essencial para que conceitos abstratos, como os da Física, sejam internalizados pelo indivíduo. É importante considerar as diferenças individuais e culturais dos alunos ao aplicar os princípios da ZDP no ensino de Física. Adaptações sensíveis ao contexto cultural e à diversidade de habilidades garantem que

todos os alunos tenham acesso equitativo a oportunidades de aprendizagem significativas e enriquecedoras.

Experimentos práticos ou simulados desempenham um papel crucial na aplicação da ZDP no ensino de Ciências e Física. Por exemplo, ao realizar experimentos ou simulações que envolvem a detecção de radiação ou o estudo de decaimentos radioativos, os alunos não apenas observam fenômenos físicos diretamente, mas também interagem com instrumentação especializada sob a orientação de um professor ou de colegas mais experientes. Essa interação permite que os alunos explorem conceitos teóricos complexos de maneira concreta, facilitando a internalização desses conceitos através da prática (WOOD, BRUNER E ROSS, 1976).

A resolução de problemas contextualizados em Física é outra utilização eficaz dos princípios da ZDP. Problemas que situam conceitos teóricos em contextos práticos, como o cálculo da meia-vida de um isótopo ou a análise de reações nucleares em aplicações industriais, desafiam os alunos a aplicar seus conhecimentos teóricos em situações do mundo real. A orientação de um professor durante a resolução desses problemas é fundamental para fornecer suporte adequado e permitir que os alunos avancem dentro de sua ZDP, desenvolvendo habilidades analíticas e críticas necessárias para o estudo da Física Nuclear (FLAVELL, 1979). Alguns exemplos trabalhos em ensino de Física que usam Vigotsky são: O pensamento de Freire e Vygotsky no ensino de Física (GEHLEN, 2012) e Vygotsky: um referencial para analisar a aprendizagem e a criatividade no ensino da Física. (BARBOSA, DE LOURDES BATISTA, 2018).

Um exemplo prático poderia envolver o estudo da meia-vida de isótopos radioativos. Os alunos poderiam realizar experimentos para medir a decaída radioativa de um isótopo específico e calcular sua meia-vida. Durante este processo, eles seriam guiados pelo professor na interpretação dos dados experimentais, na aplicação de equações físicas relevantes e na discussão das implicações práticas desse fenômeno, como seu uso em datação geológica ou em medicina nuclear.

Além de fortalecer o entendimento teórico, a consideração da ZDP no ensino de Física promove o desenvolvimento de competências científicas e colaborativas. A colaboração em experimentos e a resolução de problemas estimulam habilidades de comunicação, trabalho em equipe e pensamento crítico entre os alunos. Essas habilidades são fundamentais não apenas para o sucesso acadêmico, mas também para a

preparação dos alunos para carreiras em pesquisa científica (JOHNSON E JOHNSON, 1989).

Quando se trata da relação entre o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal no ensino de Física, a utilização de seus princípios pode promover uma compreensão mais significativa dos conceitos teóricos e experimentais dessa disciplina complexa. A ZDP, conforme proposta por Vygotsky, enfatiza o espaço entre o que o aluno já domina e o que ele pode alcançar com apoio adequado, destacando o papel essencial da mediação de professores e colegas mais experientes (VYGOTSKY, 2007).

Dessa forma pode-se observar de fato que a mediação é extremamente eficaz e altamente necessária para que o educando possa alcançar patamares cognitivos cada vez maiores, o que reflete de maneira concreta que na prática do ensino de Física o contato entre docentes e discentes é imprescindível. Pode-se entender também que o pleno domínio da escrita, da leitura e do cálculo (BRASIL, 1996), sempre associados aos fatores e elementos culturais e históricos refletidos pelos educandos e pela comunidade extraescolar na qual esse está inserido, devem permear o desenvolvimento real do educando de modo a levá-lo de maneira gradativa a compreender tanto os aspectos qualitativos por de trás das teorias como a própria interpretação semântica e semiótica das leis físicas abordadas ao decorrer de sua formação básica e/ou superior.

A partir do que foi apresentado, no decorrer deste capítulo, podemos constatar como a Zona de Desenvolvimento Proximal pode transformar o ensino de Física, proporcionando um ambiente educacional dinâmico e adaptativo que promove um aprendizado mais profundo e significativo. Ao integrar experimentos práticos, resolução de problemas contextualizados e *scaffolding*, os educadores podem criar oportunidades de aprendizagem que não apenas fortalecem o entendimento conceitual, mas também preparam os alunos para enfrentar desafios complexos na ciência nuclear. A aplicação ética e sensível da ZDP não só enriquece a experiência educacional dos alunos, mas também contribui para o avanço contínuo da ciência e tecnologia nucleares.

4. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática é um dos pilares fundamentais no planejamento educacional, sendo uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de práticas pedagógicas eficazes. De acordo com Zabala (1998), uma sequência didática é um conjunto de atividades organizadas de forma sistemática e intencional com o objetivo de promover a aprendizagem significativa. A elaboração de sequências didáticas requer um planejamento cuidadoso que leve em consideração as necessidades e características dos estudantes, além dos objetivos educacionais a serem alcançados.

Historicamente, a organização do ensino tem evoluído para refletir as mudanças nas teorias educacionais e nas práticas pedagógicas. A sequência didática surgiu como uma resposta a essa evolução, oferecendo um meio sistemático para planejar e implementar práticas pedagógicas fundamentadas em teorias educacionais contemporâneas. Essa abordagem permite aos professores criar um plano de ensino que orienta a apresentação do conteúdo, a seleção de atividades e a avaliação dos alunos, garantindo uma experiência de aprendizagem coesa e estruturada (ZABALA, 1998).

As sequências didáticas são fundamentais para estruturar o processo de ensino e aprendizagem de maneira coerente e articulada. Elas possibilitam ao docente organizar o conteúdo curricular de modo a facilitar a compreensão e a assimilação pelos alunos, promovendo um ensino que se ajusta ao ritmo de aprendizagem de cada estudante. Segundo Coll, Pozo, Sarabia e Valls (1998), a sequência didática serve como um guia para que o professor possa criar um ambiente de aprendizado estruturado, onde os alunos possam progredir de forma segura e eficaz.

Um dos principais benefícios das sequências didáticas é a capacidade de promover o desenvolvimento de competências e habilidades de forma progressiva. Elas permitem que os alunos construam o conhecimento de maneira ativa e participativa, integrando conceitos novos aos seus conhecimentos prévios. Segundo Zabala (1998), essa abordagem facilita a construção do conhecimento de forma que os estudantes se tornem protagonistas de seu próprio aprendizado.

Além disso, as sequências didáticas oferecem um caminho claro para o cumprimento dos objetivos educacionais, garantindo que o processo de ensino seja direcionado e que cada etapa seja cuidadosamente planejada para maximizar o aprendizado. Como afirmam Antunes (2001) e Zabala (1998), as sequências didáticas

são fundamentais para garantir que a aprendizagem ocorra de forma integrada e contextualizada, respeitando os princípios da educação contemporânea, que valoriza a interdisciplinaridade e a contextualização do saber.

Existem características específicas que distinguem as sequências didáticas de outras formas de planejamento educacional. Primeiramente, uma sequência didática é caracterizada pela organização lógica e temporal das atividades de ensino, que devem ser planejadas de modo a assegurar a progressão do conhecimento (ZABALA, 1998). As atividades são sequenciadas para que cada uma delas se construa sobre a anterior, permitindo um aprofundamento gradual do conteúdo.

Outra característica importante é a flexibilidade, que permite ajustes e adaptações durante o processo de ensino para atender às necessidades emergentes dos estudantes e às situações imprevistas que possam surgir no contexto escolar (COLL et al., 1998). A flexibilidade é essencial para que o ensino seja centrado no aluno, respeitando suas individualidades e promovendo uma educação inclusiva. Essa característica é especialmente importante no contexto atual, em que as salas de aula são cada vez mais diversificadas.

As sequências didáticas também devem possuir objetivos claros e bem definidos, que orientem o planejamento das atividades e a avaliação da aprendizagem. Segundo Antunes (2001), os objetivos devem ser específicos, mensuráveis, alcançáveis, relevantes e temporais, garantindo que a prática pedagógica esteja alinhada com as metas educacionais estabelecidas. A clareza dos objetivos ajuda os alunos a entenderem o propósito de cada atividade, o que pode aumentar sua motivação e engajamento.

Para que uma sequência didática seja efetiva, ela deve conter alguns elementos essenciais. Primeiramente, é necessário definir objetivos de aprendizagem que orientem o planejamento das atividades e a avaliação dos resultados. Esses objetivos devem estar alinhados com o currículo escolar e com as competências que se pretende desenvolver nos alunos. Os objetivos funcionam como um guia para o professor, ajudando a manter o foco nas metas educacionais e garantindo que todas as atividades estejam orientadas para a promoção da aprendizagem significativa.

Outro elemento importante é a escolha dos conteúdos a serem trabalhados, que devem ser selecionados de acordo com a relevância e a significância para os estudantes. A seleção dos conteúdos deve levar em conta o contexto social e cultural dos alunos, bem como suas experiências e conhecimentos prévios. A relevância dos conteúdos é

crucial para garantir que o aprendizado seja significativo e que os alunos consigam estabelecer conexões entre o que estão aprendendo e suas próprias vidas.

As atividades de ensino constituem o núcleo da sequência didática e devem ser planejadas de forma a promover a interação, a colaboração e o protagonismo dos alunos. De acordo com Zabala (1998), as atividades devem estimular a reflexão, a investigação e a experimentação, possibilitando a construção ativa do conhecimento. Atividades práticas, como projetos, experimentos e discussões em grupo, são exemplos de estratégias que podem ser incorporadas às sequências didáticas para promover um aprendizado mais ativo e participativo.

Por fim, a avaliação é um componente fundamental da sequência didática, devendo ser planejada de modo a acompanhar e registrar o progresso dos alunos ao longo do processo de ensino e aprendizagem. A avaliação deve ser contínua, formativa e integrada ao planejamento, permitindo ajustes e intervenções pedagógicas sempre que necessário. Segundo Luckesi (2003), a avaliação deve ser vista como um processo de reflexão sobre a prática educativa, que possibilita ao professor e aos alunos identificar pontos fortes e áreas de melhoria no processo de ensino e aprendizagem.

Os conceitos de ZDP e sequências didáticas estão intimamente ligados, uma vez que o uso das sequências didáticas desempenha um papel determinante na operacionalização do conceito de ZDP. Ao planejar atividades que se alinham com a ZDP dos alunos, os professores podem criar experiências de aprendizado que são desafiadoras, mas ainda acessíveis.

Nesse trabalho utilizamos o conceito de *scaffolding*, um fundamento defendido por Wood, Bruner e Ross (1976), ou seja, a oferta de suporte temporário que é gradualmente removido à medida que os alunos se tornam mais independentes. Este suporte pode incluir dicas, instruções adicionais, ou exemplos práticos, e é uma estratégia eficaz para trabalhar dentro da ZDP. Conforme os alunos adquirem confiança e habilidades, o suporte é retirado, promovendo a autonomia e o autogerenciamento.

Além disso, a interação entre pares é uma estratégia eficaz para explorar a ZDP nas sequências didáticas. As atividades colaborativas permitem que os alunos trabalhem juntos, aprendendo uns com os outros e desenvolvendo suas habilidades sociais e de comunicação. O trabalho em grupo pode ajudar os alunos a alcançar níveis de compreensão que não seriam possíveis individualmente, promovendo um ambiente de aprendizado colaborativo e inclusivo.

A aplicação prática das sequências didáticas envolve a implementação no contexto escolar e a avaliação dos resultados obtidos. Para isso, é fundamental que os docentes estejam capacitados para elaborar e implementar sequências didáticas de forma eficaz, utilizando metodologias de ensino inovadoras e recursos tecnológicos que potencializem a aprendizagem.

Um exemplo prático de aplicação de sequências didáticas pode ser observado no ensino de Ciências, onde os professores podem planejar uma série de atividades experimentais que possibilitem aos alunos investigar fenômenos naturais e compreender os princípios científicos subjacentes. Alguns exemplos de trabalhos que abordam as sequências didáticas no ensino de Física são: A importância da sequência didática como metodologia no ensino da disciplina de Física Moderna no ensino médio (FRANCO, 2018); História da ciência na sala de aula: Uma sequência didática sobre o conceito de inércia (MONTEIRO, 2015). Nesse contexto, as sequências didáticas podem incluir atividades de observação, formulação de hipóteses, experimentação e discussão dos resultados, promovendo a aprendizagem ativa e significativa.

No ensino de Física, as sequências didáticas podem ser particularmente eficazes para abordar conceitos complexos, como os decaimentos radioativos. Esse tema envolve o estudo dos processos pelos quais núcleos instáveis perdem energia, um conceito abstrato que requer tanto compreensão teórica quanto prática.

Neste trabalho, utilizamos sequências didáticas para ensinar decaimentos radioativos, os alunos, na sequência, puderam explorar o conceito de forma estruturada e progressiva onde iniciamos com uma introdução teórica, utilizando recursos visuais e tecnológicos, como simulações, para ilustrar os tipos de radiação e suas características.

Além disso, o planejamento das sequências didáticas foi orientado pelos princípios da ZDP, com a proposta de oferecer desafios ajustados às capacidades dos alunos, promovendo avanços por meio da mediação. Ao oferecer apoio e desafios adequados ao nível de cada aluno, os professores podem ajudar os estudantes a alcançar seu potencial máximo de aprendizagem, promovendo um ambiente de sala de aula inclusivo e colaborativo, pois a aplicação das sequências didáticas deve considerar a diversidade dos alunos e as especificidades de cada contexto educacional. Para isso, é importante que os professores conheçam e respeitem as diferentes formas de aprender e as características individuais dos estudantes, adaptando as atividades e estratégias de ensino conforme necessário. O uso de tecnologias educacionais, como plataformas de

aprendizagem *online*, pode facilitar a personalização das sequências didáticas, permitindo que os alunos aprendam em seu próprio ritmo e de acordo com suas preferências.

Ao adotar sequências didáticas no ensino de Física, os alunos têm a oportunidade de relacionar o conhecimento adquirido com situações do mundo real, reforçando a importância do tema e promovendo uma aprendizagem mais significativa. A aplicação prática de conceitos teóricos permite que os alunos desenvolvam habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas, preparando-os para enfrentar desafios futuros.

As sequências didáticas representam uma ferramenta indispensável para o planejamento e a implementação de práticas pedagógicas eficazes no contexto educacional. Ao estruturar o processo de ensino e aprendizagem de forma sistemática e intencional, as sequências didáticas contribuem para o desenvolvimento de competências e habilidades, promovendo a aprendizagem significativa e o protagonismo dos alunos.

A relação entre sequências didáticas e a ZDP destaca a importância de um ensino que seja ao mesmo tempo desafiador e acessível, promovendo o desenvolvimento cognitivo através da interação social e do apoio pedagógico. Para que isso seja possível, é essencial que os professores estejam preparados para enfrentar os desafios do ensino contemporâneo, utilizando as sequências didáticas como um instrumento para transformar a educação e promover o desenvolvimento integral dos estudantes.

No entanto, é importante ressaltar que a elaboração e a implementação de sequências didáticas demandam uma formação docente qualificada e um compromisso com a educação de qualidade. Dessa forma, é fundamental que os professores continuem se aperfeiçoando e buscando novas estratégias e metodologias que contribuam para a melhoria contínua do processo de ensino e aprendizagem.

5. APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

5.1. AMBIENTE ESCOLAR

A sequência didática foi aplicada na Unidade Integrada Délio Jardim de Mattos, uma escola pública de ensino fundamental anos finais localizada na cidade de São Luís - MA; no bairro da Vila Itamar, em meados do mês de outubro de 2024. A instituição atende cerca de 200 alunos, distribuídos nos turnos matutino e vespertino, e possui uma estrutura física composta por salas de aula, biblioteca, mapoteca e sala de informática.

O público-alvo desta pesquisa foi uma turma do 9º ano do ensino fundamental anos finais, composta por 15 estudantes, com idades entre 14 e 15 anos. O ambiente escolar é caracterizado pela relação harmoniosa entre os alunos, o corpo docente, a gestão e os diversos funcionários que fazem parte vivência escolar. Durante o desenvolvimento da sequência didática, a escola ofereceu suporte em termos de equipamentos como o *Datashow*, o que contribuiu para a implementação das atividades planejadas.

5.2. RELATO DA APLICAÇÃO

A sequência didática sobre decaimentos radioativos contou com cinco encontros, cada um planejado para explorar aspectos específicos do tema, sempre visando uma abordagem dialógica e interativa com os alunos. A seguir, serão descritos os principais momentos e interações que ocorreram em cada encontro, buscando transmitir a vivacidade das discussões e a curiosidade manifestada pela turma. A descrição detalhada da sequência didática pode ser consultada no Apêndice A.

Primeiro encontro: Iniciando a aplicação da sequência didática, após a apresentação do projeto, foi aplicado o questionário prévio para avaliar o conhecimento inicial da turma sobre o tema. O tema radioatividade foi iniciado com uma introdução aos conceitos básicos e ao contexto histórico-científico. Para tornar o conteúdo mais acessível, foi exibido o vídeo “O que é RADIOATIVIDADE? Como ela FUNCIONA?”; disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JrM4gMZgoVE>. Acesso em: 21 jun. 2024; que ofereceu uma visão inicial sobre o funcionamento dos processos radioativos e seus impactos. Esse recurso visual despertou o interesse da

turma, e uma aluna rapidamente perguntou: “Como os cientistas descobriram que a radiação existia se ela não pode ser vista?”. Essa curiosidade foi aproveitada para falar sobre os experimentos de cientistas como Marie Curie, que usaram câmaras de ionização e placas fotográficas para detectar radiação. A partir daí, foi perceptível o aumento do interesse, com os alunos motivados a explorar como esses fenômenos invisíveis são estudados pela ciência.

Segundo encontro: Neste encontro, foi enfatizado os tipos de radiação (alfa, beta e gama) e suas características. O vídeo “*Radiation: Penetration through different materials*”; disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KPbS8k8HuIg>. Acesso em: 21 jun. 2024; foi exibido para introduzir o tema e, em seguida, houve a realização de duas simulações interativas no PhET; Decaimento Alfa: <https://phet.colorado.edu/pt/simulations/alpha-decay>; Decaimento Beta: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay.

As simulações permitiram que os alunos observassem virtualmente o comportamento dos diferentes tipos de radiação e suas interações com o núcleo atômico. Um aluno perguntou: “Por que a radiação gama é mais penetrante do que as outras?”. O questionamento foi aproveitado para explicar a diferença na energia e de cada tipo de radiação. Os recursos visuais facilitaram essa explicação, e os alunos participaram ativamente com perguntas sobre o uso de cada tipo de radiação na medicina e na indústria, o que deixou o ambiente muito dinâmico.

Terceiro encontro: Começou com a abordagem do conceito de meia-vida de um elemento radioativo, introduzindo-o com um exemplo simplificado, demonstrando o tempo necessário para que metade de uma quantidade de material radioativo se desintegre. Os alunos se mostraram curiosos sobre a aplicação prática desse conceito, e um deles perguntou: “Como isso é usado na prática? Por que é importante saber a meia-vida?”. Foram, então, discutidas as implicações da meia-vida na datação de fósseis e no tratamento médico. As interações se intensificaram com perguntas como “Quanto tempo leva para um fóssil ter sua idade medida?” e “Como os médicos sabem quanto tempo o material radioativo vai ficar no corpo?”. Essas questões enriqueceram a discussão, tornando o conceito de meia-vida mais concreto e acessível para todos.

Quarto encontro: Focando nas aplicações e implicações dos decaimentos radioativos, este encontro foi dedicado aos debates. A turma foi dividida em quatro grupos, e cada um discutiu uma aplicação diferente: medicina nuclear, geração de

energia, datação por carbono e segurança ambiental. Durante as apresentações, uma aluna perguntou: “Se a radiação é perigosa, por que usamos tanto em tratamentos médicos?”. Isso abriu uma rica discussão sobre os benefícios *versus* os riscos da radiação e as precauções tomadas no ambiente hospitalar. Os alunos participaram ativamente, questionando e debatendo as questões éticas e ambientais envolvidas no uso da radiação. Esse diálogo foi muito positivo, e assim foi possível perceber que eles estavam construindo uma visão crítica sobre o tema. Ao final do encontro foi proposto que os grupos que elaborassem mapas conceituais com as principais ideias que eles compreenderam durante os últimos encontros, os mapas deviam ser entregues no próximo encontro.

Quinto encontro: No último encontro, foram recolhidos os mapas mentais propostos ao final do encontro anterior, foi aplicado também o questionário final para avaliar a compreensão dos alunos sobre o conteúdo, seguido de um momento de *feedback*. Alguns alunos compartilharam espontaneamente suas impressões sobre a sequência, e todos responderam às perguntas “Como você avalia a sequência didática?” e “Como você avalia a sua aprendizagem sobre radiação?”. As respostas mostraram que o conteúdo despertou um interesse genuíno. Perguntas como “Qual será o próximo tema?” e comentários como “Foi interessante ver como a ciência estuda coisas que a gente não vê” tais comentários demonstraram o envolvimento e a curiosidade da turma.

Essa sequência didática permitiu que os alunos se envolvessem ativamente com o conteúdo, promovendo reflexões sobre os impactos da radioatividade em diversas áreas. A mediação do professor desempenhou um papel essencial ao oferecer suporte para que os alunos explorassem conceitos que estavam além de seu nível de compreensão inicial. Além disso, a interação com colegas mais experientes, os quais foram identificados ao decorrer da pesquisa por meio da observação direta durante as atividades da sequência didática, associada à análise qualitativa das interações entre os alunos, favoreceu a construção coletiva do conhecimento, fortalecendo o aprendizado dentro da ZDP. As perguntas e discussões que emergiram durante as aulas revelaram uma turma engajada, que não apenas assimilou o conteúdo, mas também desenvolveu habilidades para questionar, refletir e analisar criticamente as informações apresentadas. Esse processo evidenciou a relevância da mediação e da colaboração no avanço do aprendizado.

5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados das avaliações, as análises estatísticas correspondentes e uma discussão crítica sobre a eficácia da metodologia empregada, levando em consideração os conceitos de ZDP e a interação dos alunos com o conteúdo.

Os dados foram coletados a partir de dois questionários: um diagnóstico, aplicado antes do início da sequência didática, e outro final, aplicado após as atividades. A turma consistia de 15 alunos, e as questões abordaram temas como estrutura da matéria, decaimento alfa, beta, gama, tempo de meia-vida e suas aplicações práticas.

No questionário diagnóstico, a média de acertos foi de aproximadamente 45,33%. A tabela abaixo mostra a porcentagem de acertos em cada questão:

Tabela 2: Porcentagens de Acertos em cada Questões no Questionário Diagnóstico

Questão	Quantidade de Acertos	Quantidade Relativa Percentual de Acertos
1	10	66,67%
2	8	53,33%
3	6	40,00%
4	4	26,67%
5	6	40,00%

Fonte: Próprio autor, 2024

A primeira questão, que abordava a unidade básica da matéria, apresentou a maior taxa de acertos (66,67%), sugerindo que a maioria dos alunos compreende que o átomo é a estrutura fundamental da matéria. No entanto, os erros mais comuns indicaram que alguns alunos confundem esse conceito com moléculas, demonstrando uma possível sobreposição entre os níveis microscópico e submicroscópico.

A segunda questão, que perguntava sobre a localização dos prótons e nêutrons no núcleo do átomo, teve uma taxa de acertos de 53,33%. Apesar de ser um conceito fundamental, um número significativo de alunos selecionou alternativas incorretas,

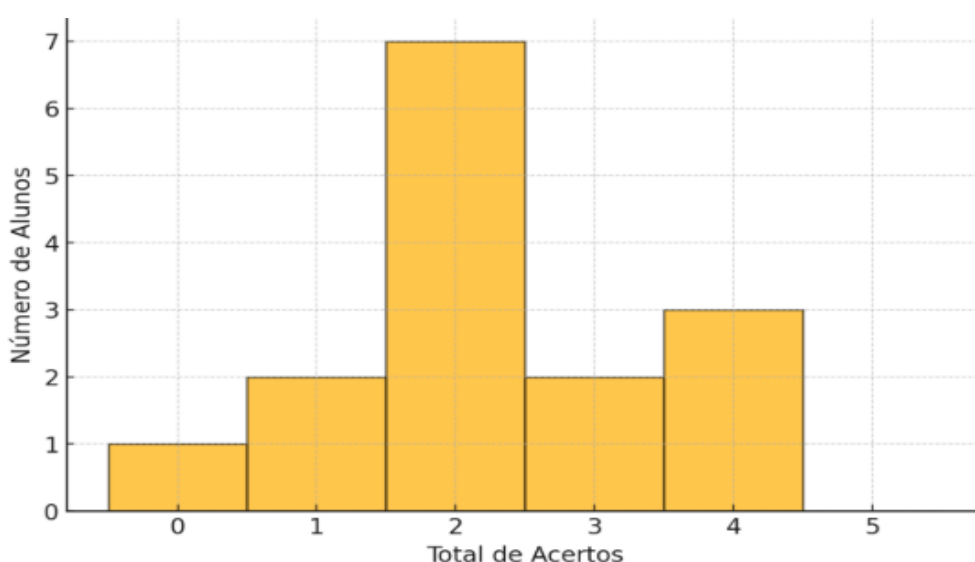
como "camadas eletrônicas" e "nuvem eletrônica", evidenciando uma dificuldade em diferenciar as regiões da estrutura atômica.

A terceira questão, que exigia a identificação correta das características dos elétrons, teve um desempenho inferior, com apenas 40% de acertos. O erro mais comum foi associar os elétrons a partículas de carga positiva, o que indica confusão com os prótons e sugere a necessidade de reforço na distinção entre as partículas subatômicas.

A quarta questão, referente ao conceito de isótopos, apresentou a menor taxa de acertos, com apenas 26,67% dos alunos selecionando a resposta correta. A maioria dos erros decorreu da crença equivocada de que os isótopos se diferenciam pela quantidade de prótons, quando, na realidade, essa variação ocorre no número de nêutrons. Esse dado sugere que o conceito de isótopos pode ser um ponto crítico de dificuldade e exige uma abordagem didática mais aprofundada.

A quinta questão, que tratava do número atômico e sua relação com o número de prótons no núcleo, obteve 40% de acertos. Um erro recorrente foi a escolha da alternativa que indicava que o número atômico corresponde à soma de prótons e nêutrons, o que demonstra que parte dos alunos confunde esse conceito com o número de massa.

Gráfico 1: Distribuição de Acertos dos Aluno por Questões no Questionário Diagnóstico



Fonte: Próprio autor, 2024.

A análise inicial dos dados revela que os alunos tinham uma compreensão básica, mas limitada, dos conceitos fundamentais da estrutura da matéria e da radioatividade. O desvio padrão calculado para as porcentagens de acertos nas questões é de aproximadamente 13,60%. Esse valor indica o grau de variação dos acertos entre as questões, mostrando que há uma dispersão considerável nos resultados. Em outras palavras, a diferença entre o desempenho dos alunos nas diferentes questões é notável, o que pode sugerir que algumas perguntas foram mais difíceis do que outras ou que certos conteúdos podem ter sido melhor compreendidos. O questionário diagnosticou que a maioria dos alunos estava familiarizada apenas com os conceitos mais básicos, como a constituição dos átomos, enquanto a compreensão mais profunda sobre a definição de isótopo de um elemento era significativamente baixa.

Após a aplicação da sequência didática, o questionário final apresentou uma média de acertos de 80,00%, demonstrando um progresso significativo. A tabela a seguir resume a performance dos alunos:

Tabela 3: Porcentagens de Acertos em cada Questões no Questionário Final

Questão	Quantidade de Acertos	Quantidade Relativa Percentual de Acertos
1	13	86,67%
2	12	80,00%
3	11	73,33%
4	14	93,33%
5	10	66,67%

Fonte: Próprio autor, 2024

A primeira questão, que investigava a característica do decaimento alfa, obteve um percentual de acertos de 86,67%. A maioria dos alunos demonstrou compreender que esse tipo de decaimento envolve a emissão de uma partícula composta por dois prótons e dois nêutrons, um conceito essencial para o entendimento da radioatividade.

A segunda questão, que abordava o decaimento beta menos e a transformação de um nêutron em um próton, teve um índice de acertos de 80%. Esse resultado indica que

os alunos conseguiram assimilar a relação entre esse processo e a reconfiguração do núcleo atômico.

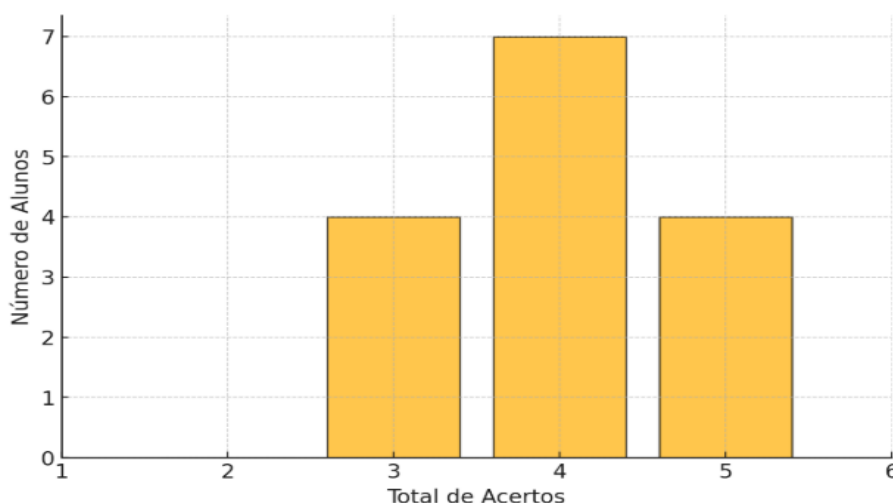
A terceira questão, referente ao decaimento gama e sua principal característica – a emissão de radiação sem alteração no número atômico ou de massa – registrou 73,33% de acertos. Isso demonstra que os alunos desenvolveram uma boa compreensão sobre os diferentes tipos de radiação emitidos por núcleos instáveis.

A quarta questão, que tratava do conceito de tempo de meia-vida, apresentou o maior índice de acertos, atingindo 93,33%. Esse resultado sugere que o conceito foi bem assimilado e que os alunos conseguiram compreender sua aplicação na descrição do comportamento dos isótopos radioativos ao longo do tempo.

Por fim, a quinta questão, que abordava as aplicações dos isótopos radioativos na medicina, obteve um percentual de acertos de 66,67%. Esse índice, embora positivo, sugere que o tema poderia ser reforçado para garantir uma compreensão mais aprofundada das aplicações práticas da radioatividade em áreas como diagnóstico por imagem e tratamento do câncer.

De maneira geral, o questionário final demonstrou que os alunos alcançaram um bom nível de entendimento sobre os principais conceitos relacionados aos decaimentos radioativos, evidenciando a eficácia da sequência didática aplicada.

Gráfico 2: Distribuição de Acertos dos Aluno por Questões no Questionário Final



Fonte: Próprio autor, 2024

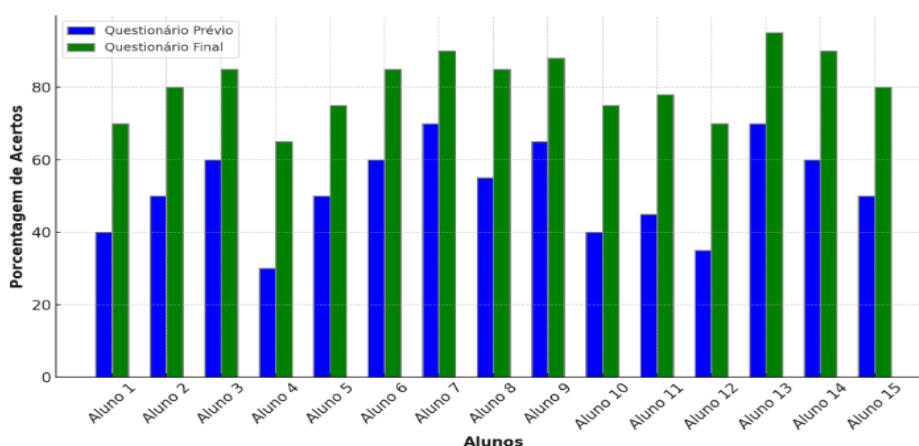
A comparação entre os dados da tabela 2 e da tabela 4 indicam um avanço notável no entendimento dos alunos sobre os decaimentos radioativos e suas aplicações. A comparação das porcentagens de acertos entre os questionários pré e pós-sequência didática revela um crescimento consistente no aprendizado.

Com base nos dados obtidos pela aplicação dos questionários foi realizado um levantamento estatístico que incluiu o cálculo da média das porcentagens e o desvio padrão, permitindo uma visão clara da evolução dos alunos. A partir da visualização das tabelas é perceptível que a média de acertos do questionário diagnóstico foi de 45,33%, enquanto a do questionário final foi de 80,00%, evidenciando um aumento de 34,67 pontos percentuais. Para o questionário final, o desvio padrão foi calculado como 9,43.

A redução do desvio padrão, como observado na comparação entre os desvios de 13,60% e 9,43%, torna-se indicador positivo para a aplicação dos questionários e da sequência didática. Uma menor dispersão nos acertos sugere que os alunos compreenderam os conteúdos de maneira mais uniforme e considerando o aumento da média, podemos afirmar que a maioria dos alunos progrediu consideravelmente. A menor variação sugere uma maior homogeneidade no entendimento após a aplicação da sequência didática.

Com intuito de observar a evolução individual dos alunos, a apresentamos o Gráfico 3, que representa a porcentagem de acertos nos dois questionários:

Gráfico 3: Comparação das Porcentagens de Acertos entre os Questionários



Fonte: Próprio autor, 2024

O gráfico oferece uma visão clara e quantitativa sobre o progresso dos alunos ao longo da sequência didática. Ele representa o desempenho de cada um dos 15 alunos, com base nas porcentagens de acertos nos questionários aplicados antes (questionário prévio) e após (questionário final) o desenvolvimento das atividades.

No questionário prévio, observa-se que a maioria dos alunos apresentou porcentagens relativamente baixas de acertos, em relação ao questionário final, o que era esperado, visto que os temas abordados ainda eram relativamente novos na prática escolar até o momento. Esses resultados refletem um conhecimento inicial limitado e indicam que os alunos tinham pouca familiaridade com os conceitos científicos relacionados na introdução das atividades.

Em contraste, no questionário final, o gráfico mostra um aumento expressivo nas porcentagens de acertos de todos os alunos, com muitos deles alcançando uma performance próxima ou igual à máxima possível. Este salto nas porcentagens demonstra de maneira evidente o impacto positivo da sequência didática na aquisição de conhecimentos por parte dos estudantes. O gráfico indica que todos os alunos, sem exceção, apresentaram avanços em suas compreensões, sugerindo que as estratégias de ensino aplicadas foram eficazes.

A análise desse gráfico nos permite observar um padrão de evolução pedagógica típico quando os alunos são expostos a um processo de ensino que se alinha aos princípios da teoria de Vygotsky. Durante os cinco encontros, os alunos tiveram acesso a explicações teóricas, vídeos educativos, simulações interativas e debates que foram fundamentais para proporcionar um ambiente de aprendizado significativo. Esse ambiente permitiu que os alunos comesçassem de um nível básico e avançassem, por meio da mediação do professor e das atividades propostas, para um domínio mais completo dos conteúdos.

Essa evolução no desempenho dos alunos pode ser entendida à luz do conceito da ZDP. A sequência didática foi estruturada para ajudar os alunos a avançarem do nível de conhecimentos que possuíam no início para um nível mais elevado, com a mediação constante do professor e das atividades propostas. Ao longo da sequência, os alunos tiveram a oportunidade de internalizar os novos conceitos de forma progressiva, por meio de atividades desafiadoras, porém acessíveis, que estimularam seu aprendizado ativo.

Em termos de análise pedagógica, o gráfico corrobora a eficácia de uma abordagem que articula o conceito de ZDP com o ensino de temas complexos, como os decaimentos radioativos. A significativa melhora nas porcentagens de acertos do questionário final indica que os alunos foram capazes de superar dificuldades iniciais e consolidar seus conhecimentos. Este avanço gradual no desempenho reflete o sucesso da sequência didática em proporcionar um ambiente de ensino que respeitou o ritmo de aprendizagem de cada aluno, ao mesmo tempo que os desafiava a progredirem.

Além disso, a visualização gráfica também revela a eficácia de métodos que integram a teoria com a prática, utilizando abordagens diversificadas, como o uso de vídeos e simulações, para reforçar a aprendizagem. Esse tipo de variação de recursos didáticos parece ter sido decisivo para promover o engajamento dos alunos e facilitar a internalização dos conceitos de forma mais profunda e duradoura.

Em resumo, o gráfico 3 não apenas confirma o progresso dos alunos em termos quantitativos, mas também destaca a importância de uma sequência didática cuidadosamente planejada; os alunos demonstraram maior domínio dos conteúdos trabalhados, o que reforça a importância de uma sequência didática bem estruturada e alinhada aos princípios da ZDP. A melhoria consistente nas porcentagens de acertos reflete como o ensino, quando bem estruturado e conectado ao nível de desenvolvimento dos alunos, pode impulsionar a aprendizagem, proporcionando resultados concretos e mensuráveis.

Ao final da aplicação da sequência didática, foi também incluída, uma atividade de reflexão em que os alunos responderam a duas perguntas avaliativas: “Como você avalia a sequência didática?” e “Como você avalia a sua aprendizagem sobre decaimentos radioativos?”. As respostas dos 15 alunos, com idades entre 14 e 15 anos, foram analisadas com o objetivo de coletar percepções detalhadas sobre a organização da sequência, a clareza dos métodos utilizados, e o impacto do conteúdo na aprendizagem dos conceitos centrais.

Respostas referentes à primeira pergunta: **Como você avalia a sequência didática?**

1. "Foi muito legal! Curti as simulações, ajudaram muito a entender."
2. "Achei interessante. Não sabia que dava pra aprender sobre radiação de um jeito fácil assim."
3. "Gostei, mas acho que podia ter mais coisas práticas pra fazer."
4. "Foi bem explicado, deu pra entender direitinho."
5. "Achei bom, mas acho que os debates podiam ser mais longos."

6. "Gostei, só achei algumas partes meio difíceis."
7. "Muito bom, ficou fácil de acompanhar."
8. "Achei tudo bem organizado e as atividades ajudaram a fixar."
9. "Gostei, mas queria que tivesse mais vídeos."
10. "Legal, curti fazer as atividades em grupo e discutir o tema."
11. "Foi interessante, mas algumas partes achei meio repetitivas."
12. "Achei ótimo! Os vídeos e as explicações ficaram bem claros."
13. "Foi legal, mas acho que as simulações poderiam aparecer mais."
14. "Muito bom, as explicações foram bem claras."
15. "Curti! Gostei dos debates e das simulações."

As respostas à primeira questão revelaram que os alunos perceberam a sequência como uma experiência positiva, com elogios frequentes ao uso de simulações e atividades colaborativas. Por exemplo, comentários como “Foi muito legal! Curti as simulações, ajudaram muito a entender” e “Achei interessante. Não sabia que dava pra aprender sobre radiação de um jeito fácil assim” indicam que a inclusão de atividades interativas facilitou a compreensão do tema e tornou o aprendizado mais acessível. As simulações foram particularmente bem recebidas, sugerindo que esses recursos visuais ajudaram a consolidar conceitos abstratos, como os tipos de decaimento radioativo e o conceito de meia-vida.

Alguns alunos, no entanto, sugeriram melhorias, como a inclusão de mais atividades práticas e vídeos, como indicado em respostas como “Gostei, mas acho que podia ter mais coisas práticas pra fazer” e “Gostei, mas queria que tivesse mais vídeos”. Outros mencionaram aspectos específicos que poderiam ter mais tempo, como os debates: “Achei bom, mas acho que os debates podiam ser mais longos”, indicando o desejo de aprofundar as discussões em sala. Embora a sequência tenha sido considerada bem organizada e clara, algumas respostas também apontaram que certos pontos foram percebidos como desafiadores ou repetitivos, destacando a importância de equilibrar a apresentação de conteúdo para manter o engajamento sem redundância.

Respostas referentes à segunda pergunta: **Como você avalia a sua aprendizagem sobre decaimentos radioativos?**

1. "Agora entendo bem melhor sobre radiação. Antes não sabia quase nada."
2. "Acho que aprendi o básico, mas tem umas partes que ainda são complicadas."
3. "Eu aprendi muito sobre isso, antes nem sabia o que era."
4. "Agora sei o que é meia-vida e porque é importante."
5. "Consegui entender, mas é um assunto meio difícil."
6. "Aprendi a diferença entre os tipos de radiação, isso foi interessante."
7. "Acho que aprendi bastante, até consigo explicar pra alguém agora."

8. "Acho que entendi melhor com os exemplos que foram passados."
9. "Aprendi, mas ainda tenho algumas dúvidas sobre algumas coisas."
10. "Agora entendo o que são os decaimentos alfa, beta e gama."
11. "Entendi bem e acho que isso vai me ajudar nas próximas aulas."
12. "Consegui entender bem a parte de meia-vida e as diferenças de decaimento."
13. "Acho que aprendi, mas precisaria revisar mais pra entender tudo direitinho."
14. "Aprendi bastante, gostei de como tudo foi explicado."
15. "Agora entendo mais sobre o tema, principalmente por causa das simulações."

Na segunda pergunta, a maioria dos alunos avaliou positivamente sua aprendizagem, com muitos relatando que agora possuem uma compreensão mais sólida dos tópicos abordados. Afirmações como “Agora entendo bem melhor sobre radiação. Antes não sabia quase nada” e “Agora sei o que é meia-vida e porque é importante” indicam que a sequência contribuiu significativamente para a construção do conhecimento sobre o tema. Alunos também demonstraram confiança em sua capacidade de transmitir o que aprenderam, como expresso em “Acho que aprendi bastante, até consigo explicar pra alguém agora” e “Agora entendo o que são os decaimentos alfa, beta e gama”.

No entanto, algumas respostas sugerem que ainda existem áreas de dificuldade, conforme apontado em “Acho que aprendi o básico, mas tem umas partes que ainda são complicadas” e “Aprendi, mas ainda tenho algumas dúvidas sobre algumas coisas”. Essas respostas refletem a complexidade do conteúdo, que, embora compreendido em grande parte, pode exigir uma revisão adicional para alcançar uma compreensão completa.

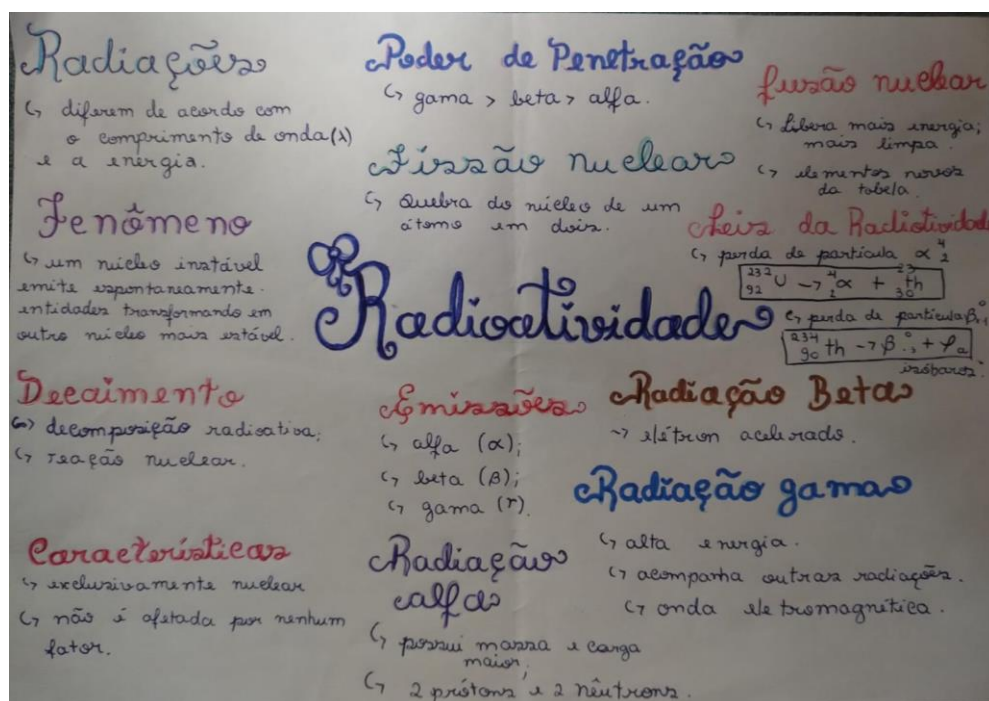
Essas percepções mostram que a sequência didática foi bem-sucedida em promover uma aprendizagem ativa e engajadora. A maioria dos alunos relatou um nível satisfatório de compreensão e engajamento, especialmente com o uso de simulações e debates. A inclusão de atividades práticas, simulações e discussões em grupo parece ter sido particularmente eficaz na construção de um conhecimento mais profundo e significativo. Por outro lado, o *feedback* dos alunos também destaca áreas de aperfeiçoamento, como o aumento da variedade de recursos visuais e o ajuste da profundidade de certas atividades para garantir que todos os conceitos sejam devidamente absorvidos.

As respostas dos alunos fornecem informações valiosas para o aprimoramento da sequência didática e indicam que o uso de atividades interativas e debates foi essencial para facilitar o entendimento de conceitos complexos. Em síntese, a atividade

final de reflexão permitiu que o professor não apenas avaliasse o impacto da sequência, mas também obtivesse *insights* valiosos para futuras abordagens, visando um desenvolvimento contínuo e aprimorado das práticas didáticas.

Após a análise das respostas às perguntas subjetivas, os mapas mentais elaborados pelos alunos, em grupo, constituem os últimos dados avaliados. Esses mapas oferecem uma visão gráfica e personalizada da compreensão dos conceitos abordados ao longo da sequência didática, como os tipos e diferença entre os decaimentos radioativos. A estrutura dos mapas mentais evidencia como cada grupo de alunos organizou e interligou os conteúdos, revelando tanto o grau de apropriação conceitual quanto a capacidade de conectar as informações de maneira lógica como veremos a seguir.

Figura 3: Mapa Conceitual, grupo 1.

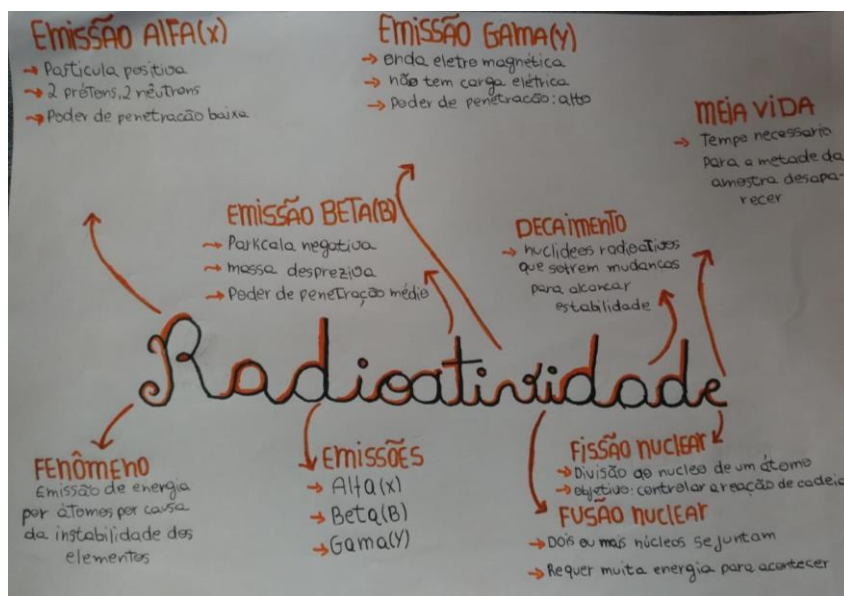


Fonte: Arquivo pessoal do autor, elaborado pelos alunos na sequência didática (2024).

Essa última fase da análise comprova, portanto, a importância da sequência didática e do uso da Zona de Desenvolvimento Proximal como suporte para o desenvolvimento cognitivo dos alunos, evidenciando o papel fundamental da mediação

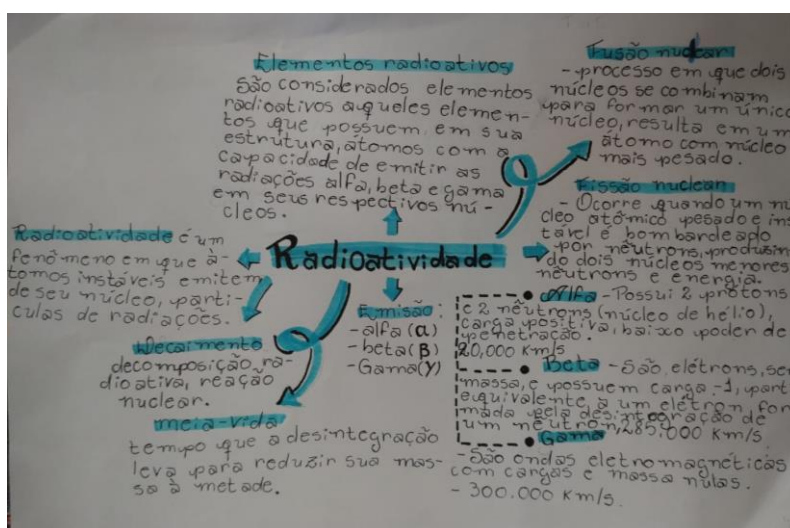
pedagógica no avanço do conhecimento científico. A seguir, os mapas mentais dos outros grupos, também ilustram essas conquistas em detalhes, oferecendo uma síntese visual do progresso conceitual dos alunos ao longo do processo.

Figura 4: Mapa Conceitual, grupo 2.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, elaborado pelos alunos na sequência didática (2024).

Figura 5: Mapa Conceitual, grupo 3.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, elaborado pelos alunos na sequência didática (2024)

A estrutura dos mapas revela que os alunos não apenas adquiriram novos conhecimentos, mas também aprenderam a interligá-los de maneira lógica e articulada. Elementos como o tipo de decaimento radioativo foram progressivamente integrados, mostrando que os estudantes conseguiram ampliar seu entendimento e conectar os conteúdos. Esse progresso reflete uma consolidação do aprendizado, resultado tanto das atividades práticas quanto das discussões guiadas ao longo da sequência, que estimularam o pensamento crítico e colaborativo.

Discussão Pedagógica

A sequência didática desenvolvida nesta pesquisa foi cuidadosamente planejada para promover um aprendizado ativo e participativo, onde os alunos foram constantemente incentivados a interagir com o conteúdo de maneira dinâmica. A utilização de simulações interativas, vídeos explicativos e discussões em grupo revelou-se uma estratégia poderosa para estimular o engajamento e a construção de conhecimentos de forma significativa. Este modelo de ensino está em total consonância com o conceito da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), proposto por Vygotsky, onde a interação entre o aprendiz e um mediador mais experiente — no caso, o professor — desempenha um papel crucial para que o aluno ultrapasse seu nível inicial de compreensão e alcance níveis mais elevados de domínio conceitual.

No contexto da sequência didática aplicada ao ensino dos decaimentos radioativos e suas aplicações, observou-se que os alunos não apenas aprimoraram sua compreensão dos fenômenos físicos envolvidos nos processos de decaimento alfa, beta e gama, mas também expandiram sua capacidade de aplicar esse conhecimento em situações práticas, como na medicina nuclear e na geração de energia. Essa evolução do entendimento dos alunos está intrinsecamente ligada à metodologia ativa adotada, que incluiu o uso de simulações interativas da plataforma PhET e a exibição de vídeos lúdicos que tornaram o aprendizado mais acessível e envolvente.

Os resultados obtidos através dos questionários aplicados antes e após a sequência didática corroboram a eficácia da abordagem pedagógica utilizada. O aumento nas porcentagens de acertos de todos os alunos entre o questionário prévio e o questionário final demonstra que, além da absorção de conteúdos teóricos, houve uma internalização efetiva dos conceitos trabalhados. Essa evolução pode ser analisada à luz

da ZDP, onde os alunos, inicialmente em um estágio de conhecimento rudimentar, avançaram significativamente devido à mediação do professor e à utilização de recursos que facilitaram a compreensão de temas abstratos, como os processos de decaimento nuclear.

A escolha por simulações interativas, que permitem aos alunos observar e manipular os fenômenos de forma visual e prática, foi um diferencial importante. Estudos na área de ensino de ciências sugerem que o uso de ferramentas tecnológicas pode aumentar significativamente a retenção de informações, especialmente em tópicos de difícil visualização, como os fenômenos nucleares. Ao simular o decaimento de partículas alfa e beta, por exemplo, os alunos puderam ver em tempo real as transformações nucleares, o que solidificou o entendimento de como esses processos ocorrem em nível subatômico. Além disso, a possibilidade de observar e explorar as diferentes formas de radiação — bem como seus impactos e aplicações — ampliou a capacidade dos estudantes de relacionar o conhecimento científico ao mundo prático e cotidiano.

O Gráfico 3 apresentado anteriormente, que compara as porcentagens de acertos entre os questionários prévio e final, evidencia a eficácia da sequência didática. A ascensão nas notas dos alunos pode ser vista como uma "escada conceitual", na qual, a cada novo encontro, os alunos subiam um degrau em direção a um conhecimento mais profundo e integrado. O conceito de escada progressiva é central à ZDP, pois ilustra como o aprendizado ocorre de maneira gradativa, onde novos conhecimentos são construídos a partir de uma base inicial de entendimento, à medida que os alunos são expostos a desafios cognitivos crescentes.

Além disso, o ambiente colaborativo promovido pelas atividades em grupo desempenhou um papel relevante no desenvolvimento das habilidades dos alunos. Durante as discussões, os alunos foram incentivados a compartilhar suas dúvidas e observações, o que gerou uma troca de ideias rica e produtiva. Esse processo de interação social é um dos pilares do aprendizado na perspectiva socioconstrutivista, onde o conhecimento é construído coletivamente, com os alunos atuando como coautores de seu próprio processo de aprendizado. A presença do professor como mediador, facilitador e incentivador dessas interações foi fundamental para garantir que todos os alunos, independentemente de seus níveis iniciais de conhecimento, pudessem progredir em suas compreensões de maneira eficaz.

Outro ponto de destaque na análise dos resultados foi o uso de exemplos práticos e contextualizados, como as aplicações da radioatividade na medicina e na indústria. A ligação entre os conceitos científicos e sua utilização no cotidiano dos alunos gerou uma maior relevância do conteúdo abordado, o que, de acordo com pesquisas educacionais, aumenta a motivação e o interesse dos estudantes em aprender. Esse enfoque prático foi decisivo para que os alunos compreendessem não apenas os processos abstratos do decaimento radioativo, mas também como esses fenômenos impactam diretamente suas vidas e o mundo ao seu redor.

Em termos estatísticos, o aumento consistente nas porcentagens de acertos reflete a importância de uma abordagem didática diversificada. O desvio padrão dos resultados finais, que foi menor em relação ao questionário prévio, sugere uma homogeneização do aprendizado, indicando que a maioria dos alunos alcançou um patamar similar de compreensão. Isso reforça a ideia de que, ao longo dos cinco encontros, a sequência didática conseguiu não apenas elevar o nível médio de entendimento, mas também reduzir as desigualdades de conhecimento entre os alunos.

Ao final da sequência didática, durante o último encontro, os alunos foram convidados a elaborar mapas mentais como uma atividade de síntese do conhecimento adquirido sobre os decaimentos radioativos e suas aplicações. Essa atividade foi realizada logo após a aplicação do questionário final, permitindo que os alunos refletissem sobre o que aprenderam e organizassem suas ideias de forma visual e hierárquica.

A criação dos mapas mentais proporcionou uma oportunidade para que os alunos revisassem os conceitos discutidos ao longo da sequência, como os tipos de decaimento (alfa, beta e gama), o conceito de tempo de meia-vida e suas aplicações práticas na medicina e na energia nuclear. Os alunos puderam identificar e conectar as relações entre os diferentes tópicos, destacando a importância de cada um deles no contexto científico e tecnológico.

Essa estratégia não apenas facilitou a consolidação do aprendizado, mas também fomentou a criatividade e a expressão individual dos alunos. Ao utilizar imagens, palavras-chave e conexões, os alunos foram capazes de representar graficamente os conceitos, o que favoreceu a memorização e a compreensão profunda do conteúdo. Além disso, o ato de criar um mapa mental serve como um recurso de autoavaliação,

permitindo que os alunos identifiquem áreas em que se sentem mais confiantes e aquelas que ainda necessitam de revisão.

A atividade de elaboração de mapas mentais também estimulou a colaboração e a troca de ideias entre os alunos, uma vez que muitos deles compartilharam seus trabalhos, discutindo as representações e oferecendo *feedback* uns aos outros. Essa interação foi fundamental para reforçar o aprendizado, pois possibilitou que os alunos construíssem conhecimento coletivo e se apoiassem mutuamente em sua trajetória de aprendizado.

A análise dos mapas mentais elaborados revelou que a maioria dos alunos conseguiu articular de forma clara os conceitos-chave, demonstrando uma compreensão consolidada do tema. Essa prática alinhou-se ao conceito de ZDP, permitindo que os alunos alcançassem um nível mais elevado de compreensão por meio da mediação do professor e das interações entre colegas.

Dessa forma, a inclusão da elaboração de mapas mentais no último encontro da sequência didática não apenas complementou as metodologias tradicionais, mas também enriqueceu a experiência educacional, proporcionando um espaço para a reflexão crítica e a criatividade. Essa abordagem mostra-se valiosa na promoção de um aprendizado ativo e significativo, preparando os alunos para aplicar os conceitos científicos de forma integrada e contextualizada.

Conclui-se, portanto, que a sequência didática desenvolvida foi bem-sucedida em promover um aprendizado significativo. A combinação de abordagens teóricas, práticas e interativas, aliadas a uma mediação pedagógica eficaz, proporcionou um avanço considerável no entendimento dos alunos sobre os fenômenos de decaimento radioativo e suas aplicações. Assim, os dados apresentados confirmam que a metodologia aplicada não só atendeu às necessidades educacionais da turma, mas também facilitou o desenvolvimento cognitivo dos alunos dentro de sua Zona de Desenvolvimento Proximal, permitindo que alcançassem níveis mais altos de conhecimento científico.

6. CONCLUSÃO

Os dados coletados e analisados ao longo da sequência didática demonstraram que a interação e o envolvimento dos alunos com o conteúdo são essenciais para o aprendizado eficaz. As melhorias significativas nas médias de acertos indicam que a aplicação do conceito de ZDP, juntamente com estratégias de ensino dinâmicas, contribuiu para o avanço do conhecimento dos alunos sobre decaimentos radioativos.

Os resultados reforçam a importância de criar um ambiente de aprendizado colaborativo, onde os alunos possam explorar, questionar e desenvolver uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos. Assim, podemos dizer que a proposta pedagógica aplicada não só atendeu aos objetivos educacionais, mas também proporcionou uma experiência significativa e enriquecedora para os alunos.

Os dados coletados ao longo da sequência didática confirmam que a interação ativa dos alunos com o conteúdo é fundamental para a promoção de um aprendizado eficaz e duradouro. Ao analisar os resultados, observou-se uma melhora significativa nas médias de acertos entre os questionários prévio e final, evidenciando o progresso conceitual dos alunos em relação aos decaimentos radioativos. Esses avanços podem ser diretamente atribuídos à aplicação do conceito da ZDP, que desempenhou um papel central na mediação do conhecimento e no desenvolvimento cognitivo dos alunos.

O conceito de ZDP, conforme proposto por Vygotsky, defende que o aprendizado ocorre de maneira mais eficaz quando o aluno é desafiado a realizar tarefas ligeiramente além de seu nível atual de competência, mas com o apoio de um mediador mais experiente, como o professor. No contexto desta pesquisa, a ZDP foi fundamental para permitir que os alunos alcançassem uma compreensão mais profunda dos conceitos de decaimento alfa, beta, gama e tempo de meia-vida. A sequência didática foi projetada para fornecer esse suporte de maneira constante, integrando diversas estratégias pedagógicas que estimularam a participação ativa dos estudantes.

Entre as estratégias utilizadas, destacam-se o uso de simulações interativas e vídeos lúdicos, que proporcionaram aos alunos uma experiência de aprendizagem imersiva e visual. As simulações da plataforma PhET, por exemplo, permitiram que os estudantes visualizassem o comportamento das partículas subatômicas durante os processos de decaimento radioativo, tornando o abstrato mais tangível e compreensível. Esse tipo de recurso tecnológico é amplamente reconhecido por facilitar o aprendizado

de conceitos científicos complexos, e sua aplicação neste estudo reforçou a ideia de que a utilização de ferramentas inovadoras pode ser decisiva para a internalização de novos conhecimentos.

Outro ponto relevante foi o ambiente de aprendizagem colaborativo promovido ao longo da sequência didática. A interação entre os alunos durante as discussões em grupo e a troca de ideias foi crucial para o sucesso do processo de ensino-aprendizagem. Essa troca de experiências não só incentivou a construção coletiva do conhecimento, como também possibilitou que os alunos expressassem suas dúvidas e observações, promovendo uma maior reflexão sobre os temas abordados. Este aspecto é especialmente importante em disciplinas como Ciências e Física, onde a compreensão plena de determinados fenômenos requer a articulação entre diferentes perspectivas e abordagens.

O uso de exemplos práticos e contextualizados, como as aplicações da radioatividade na medicina e na indústria, também desempenhou um papel significativo na construção do conhecimento. Esses exemplos conectaram o conteúdo teórico com o cotidiano dos alunos, o que, de acordo com a literatura educacional, aumenta a relevância e o interesse pelo tema, facilitando a aprendizagem. A explicação do uso de radioisótopos no tratamento de câncer trouxe à tona a importância da ciência para a sociedade, promovendo uma reflexão sobre as contribuições da Física para o bem-estar humano.

Os resultados da sequência didática também corroboram a eficácia de metodologias ativas de ensino, que colocam o aluno como protagonista de seu próprio aprendizado. A análise estatística dos dados, em particular o aumento expressivo das porcentagens de acertos no questionário final, sugere que a abordagem utilizada não apenas promoveu o avanço do conhecimento, mas também contribuiu para a equalização do desempenho entre os alunos. A diminuição do desvio padrão nos resultados finais reforça essa percepção, sugerindo que a maioria dos estudantes atingiu um nível similar de compreensão.

Portanto, a proposta pedagógica aplicada atingiu os objetivos educacionais esperados, promovendo uma compreensão sólida e abrangente dos conceitos de decaimento radioativo e suas aplicações. A utilização de estratégias interativas, associada à mediação pedagógica e ao ambiente colaborativo, proporcionou uma experiência de aprendizado enriquecedora para os alunos, ao mesmo tempo em que

fortaleceu a relação entre teoria e prática. Os dados obtidos demonstram que, ao explorar as potencialidades da ZDP e das metodologias ativas, é possível criar condições propícias para que os estudantes avancem em sua formação científica de forma significativa e autônoma.

Esses resultados reforçam a importância de desenvolver sequências didáticas que integrem tecnologias educacionais e metodologias centradas no aluno, visando não apenas à transmissão de conteúdos, mas à construção de conhecimentos que sejam relevantes e aplicáveis em diferentes contextos. Além disso, a experiência obtida com esta pesquisa sugere que a inserção de temas complexos, como a radioatividade, pode ser realizada de maneira eficaz no ensino fundamental, desde que sejam adotadas estratégias pedagógicas adequadas às necessidades e características dos alunos. Assim, conclui-se que o modelo de sequência didática utilizado tem potencial para ser replicado e adaptado em diferentes contextos educacionais, contribuindo para uma educação científica mais dinâmica, inclusiva e significativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, Celso. **Como desenvolver as competências em sala de aula**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.
- ARAÚJO, Denise Lino de. O que é (e como faz) sequência didática? *Entre Palavras*, v. 3, n. 1, p. 322-334, 2013.
- AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, v. 1, 2003.
- BARBOSA, Roberto Gonçalves; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Vygotsky: um referencial para analisar a aprendizagem e a criatividade no ensino da Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, p. 49-67, 2018.
- BECK, M. **The chemistry of nuclear waste disposal**. Weinheim: Wiley-VCH, 2010.
- BLACK, P.; WILLIAM, D. Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, v. 5, n. 1, p. 7-74, 1998.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Fundamental – Anos Finais**. Brasília: Ministério da Educação, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília: MEC, 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 04 jun. 2022.
- CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As faces da Física: volume único**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2002.
- CHERRY, S. R.; SORENSEN, J. A.; PHELPS, M. E. **Physics in nuclear medicine**. 3rd ed. Philadelphia: Saunders, 2003.
- COLL, César et al. **Os conteúdos na reforma: ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes**. Porto Alegre: Artmed, 1998.
- COLE, M.; SCRIBNER, S. **Mind in society: the development of higher psychological processes**. Cambridge: Harvard University Press, 1978.
- EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.
- FLAVELL, J. H. Metacognition and cognitive monitoring: a new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, v. 34, n. 10, p. 906-911, 1979.

FRANCO, Donizete Lima. A importância da sequência didática como metodologia no ensino da disciplina de física moderna no ensino médio. *Revista Triângulo*, v. 11, n. 1, p. 151-162, 2018.

FUCHS, L. S. et al. Effects of peer-assisted learning strategies on high school students with serious reading problems. *Remedial and Special Education*, v. 18, n. 5, p. 261-270, 1997.

FUCHS, Lynn S. et al. Peer-assisted learning strategies: making classrooms more responsive to diversity. *American Educational Research Journal*, v. 34, n. 1, p. 174-206, 1997.

GASPAR, Alberto. **Física: volume único**. São Paulo: Ática, 2009.

GEHLEN, Simoni Tormöhlen et al. O pensamento de Freire e Vygotsky no ensino de física. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 2, p. 76-98, 2012.

GILLIES, Robyn M. Cooperative learning: review of research and practice. *Australian Journal of Teacher Education*, v. 41, n. 3, p. 39-54, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física – Óptica e Física Moderna**. - Vol. 4. 8ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: volume 4: óptica e física moderna**. Tradução e revisão técnica de Ronaldo Sérgio de Biasi. Reimpressão. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T. **Cooperation and competition: theory and research**. Edina: Interaction Book Company, 1989.

KRANE, Kenneth S. **Introductory nuclear physics**. New York: Wiley, 1987.

LIBBY, W. F. **Radiocarbon dating**. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1955.

LUCKESI, Cipriano Carlos. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

LURIA, A. R. **The making of mind: a personal account of Soviet psychology**. Cambridge: Harvard University Press, 1979.

MELO, Janaína Farias de et al. Teoria histórico-cultural: contribuições para a prática psicopedagógica. *Revista Psicopedagogia*, v. 37, n. 114, p. 353-365, 2020.

MONTEIRO, Midia M.; MARTINS, André Ferrer P. História da ciência na sala de aula: uma sequência didática sobre o conceito de inércia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, p. 4501-1–4501-9, 2015.

PAGANOTTI, Ivan. Vygotsky e o conceito de zona de desenvolvimento proximal. *Revista Nova Escola*, 2011.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. *Revista PEC*, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

ROSCOE, Rod D.; CHI, Michelene T. H. Understanding tutor learning: knowledge-building and knowledge-telling in peer tutors' explanations and questions. *Review of Educational Research*, v. 77, n. 4, p. 534-574, 2007.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of radioactivity. *Philosophical Magazine*, v. 4, n. 5, p. 370-396, 1902.

SEARS, Francis W.; ZEMANSKY, Mark W.; YOUNG, Hugh D. **Física 4: Ondas Eletromagnéticas, Óptica, Física Atômica**. 2.^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1985.

SLAVIN, Robert E. **Cooperative learning: theory, research, and practice**. 2. ed. Boston: Allyn and Bacon, 1995.

SOUZA, Maria A. **O ensino de física e metodologias ativas: novas abordagens no ensino de ciências**. Rio de Janeiro: Editora Y, 2018.

TIPLER, Paul Allen; LLEWELLYN, Ralph A. **Física moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros: vol. 3: física moderna: mecânica quântica, relatividade e a estrutura da matéria**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TOPPING, Keith J. Trends in peer learning. *Educational Psychology*, v. 25, n. 6, p. 631-645, 2005.

VAN DE POL, Janneke; VOLMAN, Monique; BEISHUIZEN, Jos. Scaffolding in teacher-student interaction: a decade of research. *Educational Psychology Review*, v. 22, n. 3, p. 271-296, 2010.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Mind in society: the development of higher psychological processes**. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1986.

WOOD, David; BRUNER, Jerome S.; ROSS, Gail. The role of tutoring in problem-solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, v. 17, n. 2, p. 89-100, 1976.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A

MODELO DE AUTORIZAÇÃO PARA PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADE EDUCACIONAL

Autorização para Participação em Atividade Educacional

[NOME DA ESCOLA]

[ENDEREÇO DA ESCOLA]

Telefone: [NÚMERO DE CONTATO]

Data: [DIA/MÊS/ANO]

Prezado(a) Responsável,

A [NOME DA ESCOLA], por meio do(a) professor(a) [SEU NOME], está desenvolvendo uma sequência didática sobre decaimentos radioativos, a ser aplicada aos alunos do [SÉRIE/ANO] ano do [SEGMENTO ESCOLAR]. O objetivo dessa sequência é promover uma aprendizagem significativa por meio de atividades práticas, debates, vídeos, simulações e avaliações, buscando melhorar a compreensão dos fenômenos relacionados à radiação e suas aplicações.

Para garantir a participação do(a) aluno(a) [NOME DO ALUNO], solicitamos a sua autorização para que ele(a) participe da sequência didática, que será realizada durante as aulas de [NOME DA DISCIPLINA] nas datas de [INSERIR PERÍODO]. As atividades são seguras, supervisionadas e adaptadas para o nível escolar dos alunos, seguindo todas as normas pedagógicas e de segurança.

Importante: A participação nesta sequência é voluntária e, caso o(a) aluno(a) participe, os dados coletados a partir de questionários e atividades poderão ser utilizados anonimamente em uma pesquisa educacional como parte de uma dissertação de mestrado. O sigilo dos dados e a privacidade do(a) aluno(a) serão preservados em conformidade com as leis vigentes.

Abaixo segue o campo para sua autorização. Agradecemos a sua colaboração e nos colocamos à disposição para mais informações.

Atenciosamente,

[SEU NOME]

[DISCIPLINA] - [NOME DA ESCOLA]

APÊNDICE B

TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Eu, _____, responsável pelo(a)
aluno(a) _____,
do [SÉRIE/ANO] do [SEGMENTO ESCOLAR], autorizo sua participação na
sequência didática sobre decaimentos radioativos, desenvolvida pela escola. Declaro
estar ciente de que os dados coletados serão utilizados de forma anônima em pesquisa
acadêmica, conforme descrito.

Local e Data: _____

Assinatura do Responsável: _____

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA - CCET
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA - MNPEF

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: DECAIMENTOS RADIOATIVOS

GERSON GOMES DE SOUSA JÚNIOR

SÃO LUÍS - MA
2025

PRODUTO EDUCACIONAL

SUMÁRIO

Apresentação.....	3
1. Radioatividade.....	4
1.1.Descoberta e importância histórica.....	4
1.2.Tipos de radiação.....	4
1.3.Tempo de meia-vida.....	4
1.4.Aplicações da radioatividade.....	5
1.5.Riscos e cuidados.....	5
2.Sequência didática.....	6
3.Referências bibliográficas.....	13
Apêndice A.....	14
Apêndice B.....	15

APRESENTAÇÃO

Você já parou para pensar de onde vem a energia que mantém o interior da Terra aquecido há bilhões de anos? Ou como é possível determinar a idade de fósseis e objetos arqueológicos com tanta precisão, mesmo que tenham vivido ou sido produzidos há milhares de anos? E mais: já imaginou que a mesma radiação utilizada para tratar o câncer também está presente, de forma natural, no nosso próprio corpo?

A radioatividade é um fenômeno invisível aos nossos olhos, mas com efeitos poderosos e amplamente estudados pela ciência. Presente tanto em processos naturais quanto em tecnologias de ponta, ela é um exemplo fascinante de como o conhecimento científico pode ser aplicado para compreender o mundo, resolver problemas e também gerar debates sobre segurança e responsabilidade.

Neste produto educacional, você será convidado(a) a mergulhar no universo da radioatividade de forma clara, dinâmica e contextualizada. Vamos explorar:

A história de sua descoberta, que revolucionou a Física e a Química no final do século XIX;

Os tipos de radiação (alfa, beta e gama) e suas características;

O conceito de tempo de meia-vida e como ele é usado para calcular idades e controlar processos nucleares;

Aplicações práticas na medicina, indústria, geração de energia e pesquisa científica;

Riscos e medidas de segurança para lidar com materiais radioativos.

O conteúdo será enriquecido com vídeos explicativos, simulações interativas, atividades investigativas, mapas conceituais e debates orientados. Assim, mais do que apenas aprender definições, você será estimulado(a) a refletir, questionar e compreender como a radioatividade está presente no cotidiano e no avanço da ciência.

A proposta é aproximar o tema do seu contexto real, tornando o aprendizado mais significativo. Afinal, compreender a radioatividade não é apenas um exercício acadêmico — é entender um dos fenômenos que moldam a Terra, sustentam tecnologias vitais e despertam alguns dos dilemas mais importantes da sociedade contemporânea.

Prepare-se para conhecer uma face da ciência que é, ao mesmo tempo, misteriosa, poderosa e transformadora.

1. RADIOATIVIDADE

A radioatividade é um fenômeno natural no qual núcleos atômicos instáveis se transformam espontaneamente em outros núcleos, liberando energia na forma de radiação. Essa instabilidade ocorre porque a relação entre prótons e nêutrons dentro do núcleo não é equilibrada o suficiente para mantê-lo estável. Ao tentar alcançar essa estabilidade, o núcleo sofre um processo chamado decaimento radioativo.

1.1. DESCOBERTA E IMPORTÂNCIA HISTÓRICA

A radioatividade foi descoberta em 1896 pelo físico francês Henri Becquerel, que observou que sais de urânio emitiam radiação capaz de impressionar chapas fotográficas, mesmo sem exposição à luz solar. Posteriormente, Marie e Pierre Curie aprofundaram os estudos, isolando elementos altamente radioativos como o polônio e o rádio. Essas descobertas foram fundamentais para o avanço da Física, da Química e da Medicina.

1.2. TIPOS DE RADIAÇÃO

Existem três tipos principais de radiação emitida por núcleos instáveis:

- Radiação alfa (α): formada por 2 prótons e 2 nêutrons (um núcleo de hélio). Tem baixo poder de penetração, sendo bloqueada por uma folha de papel ou pela pele humana, mas pode causar danos se for ingerida ou inalada.
- Radiação beta (β): composta por elétrons ou pósitrons emitidos pelo núcleo. Possui maior poder de penetração que a alfa, podendo atravessar alguns milímetros de alumínio.
- Radiação gama (γ): radiação eletromagnética de alta energia, com grande poder de penetração. É necessário chumbo ou espessas paredes de concreto para bloquear a maior parte dessa radiação.

1.3. TEMPO DE MEIA-VIDA

O tempo de meia-vida é o intervalo necessário para que a metade dos núcleos de uma amostra radioativa se desintegre. Cada elemento radioativo possui um tempo de meia-vida característico, que pode variar de frações de segundo a bilhões de anos. Por exemplo:

- Carbono-14: ~5.730 anos (usado em datação arqueológica);
- Urânio-238: ~4,5 bilhões de anos;
- Iodo-131: ~8 dias (usado em tratamentos médicos).

1.4. APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE

A radioatividade possui diversas aplicações benéficas:

- Medicina: diagnóstico por tomografia com emissão de pósitrons (PET scan), radioterapia para tratamento de câncer.
- Indústria: controle de espessura de materiais, esterilização de equipamentos.
- Energia: geração de eletricidade em usinas nucleares.
- Ciência: estudo de reações nucleares, datação de fósseis e rochas.

1.5. RISCOS E CUIDADOS

Apesar das aplicações, a exposição excessiva à radiação pode causar danos graves às células, como mutações genéticas e câncer. Por isso, atividades que envolvem materiais radioativos exigem blindagem adequada, controle de tempo de exposição e distanciamento.

2. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática é um dos pilares fundamentais no planejamento educacional, sendo uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de práticas pedagógicas eficazes. De acordo com Zabala (1998), uma sequência didática é um conjunto de atividades organizadas de forma sistemática e intencional com o objetivo de promover a aprendizagem significativa. A elaboração de sequências didáticas requer um planejamento cuidadoso que leve em consideração as necessidades e características dos estudantes, além dos objetivos educacionais a serem alcançados.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: DECAIMENTOS RADIOATIVOS

Objetivos Gerais:

- ✓ Compreender o conceito de decaimento radioativo e suas implicações na estabilidade dos núcleos atômicos.
- ✓ Identificar os diferentes tipos de decaimento radioativo (alfa, beta e gama) e suas características.
- ✓ Conhecer aplicações práticas dos decaimentos radioativos na ciência e tecnologia.

1º ENCONTRO: ANÁLISE DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS SOBRE ESTRUTURA DA MATÉRIA.

Objetivo: Apresentar e analisar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a estrutura da matéria, história da radioatividade e estabilidade nuclear.

O primeiro encontro terá como objetivo explorar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a estrutura da matéria e introduzir conceitos fundamentais da radioatividade. Inicialmente, os alunos serão questionados sobre o que sabem acerca da constituição dos átomos, focando em componentes como prótons, nêutrons e elétrons. Um questionário diagnóstico com perguntas objetivas será utilizado para avaliar o nível de familiaridade da turma com o tema.

Em seguida, o professor introduzirá, de forma breve, a história da descoberta da radioatividade, abordando figuras centrais como Henri Becquerel, Marie Curie e Pierre Curie. Neste encontro, será enfatizada a importância de compreender a estabilidade atômica e como a radioatividade surge como um fenômeno decorrente da instabilidade nuclear. Elementos e isótopos radioativos encontrados na natureza, como o urânio e o carbono-14, serão utilizados para exemplificar o tema.

Para tornar a aula mais dinâmica, um vídeo introdutório sobre a radioatividade será exibido, apresentando de maneira lúdica os conceitos discutidos. O vídeo selecionado é “O que é RADIOATIVIDADE? Como ela FUNCIONA?”, disponível no YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=CGar94Wmzh4>.



2º ENCONTRO: TIPOS DE DECAIMENTO RADIOATIVO

Objetivo: Introduzir e descrever os processos de decaimento alfa, beta e gama.

Dando continuidade aos encontros, o segundo momento em sala de aula terá como foco a introdução dos três principais tipos de decaimento radioativo: alfa, beta e gama, além da exploração das características e propriedades de cada tipo de decaimento, juntamente com a apresentação das equações que representam as leis de decaimento radioativo.

O encontro ocorrerá por meio de uma aula expositiva, na qual, inicialmente, será apresentado o conceito de decaimento alfa, com a comparação entre uma partícula alfa e um átomo de hélio, ressaltando a importância histórica da sua utilização para o avanço do conceito de núcleo atômico.

Será explicado que, nesse tipo de decaimento, o núcleo do átomo emitirá uma partícula alfa, constituída por dois prótons e dois nêutrons. Esse processo resultará na redução de dois prótons e dois nêutrons no núcleo, levando à formação de um novo elemento químico com número atômico menor em dois e número de massa menor em quatro. Serão apresentados exemplos de elementos que passam por esse tipo de decaimento, como o urânio-238, que se transforma em tório-234.

Em seguida, será abordado o decaimento beta. Durante a apresentação do conceito, serão destacadas as diferenças entre os tipos de decaimento beta, além de uma discussão sobre o entendimento da antimatéria presente no decaimento beta mais.

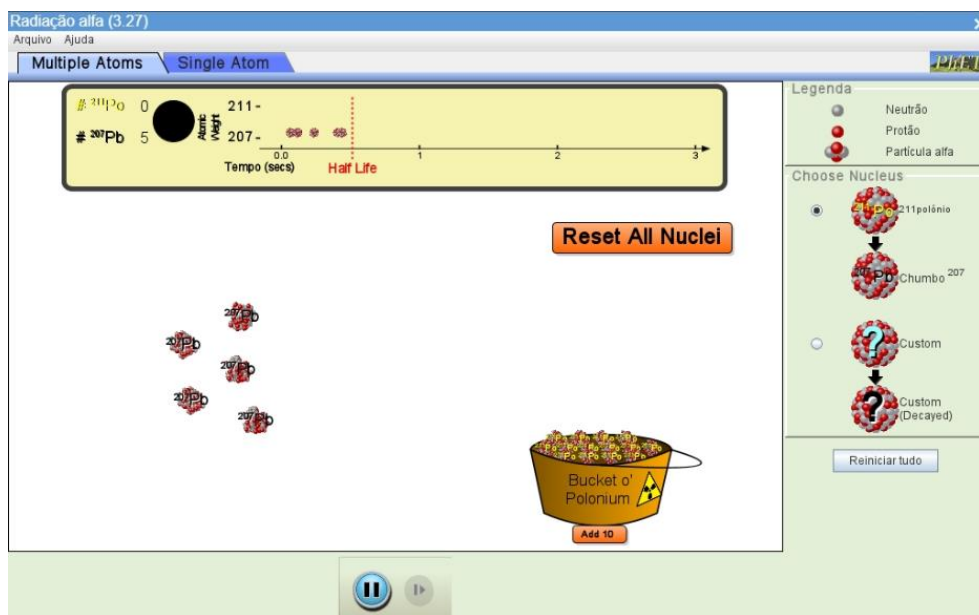
Será explicado que, nesse tipo de decaimento, ou um nêutron se transformará em um próton, emitindo uma partícula beta menos (um elétron) e um antineutrino, ou um próton se transformará em um nêutron, emitindo uma partícula beta mais (um pósitron) e um neutrino. Isso resultará no aumento de um próton no núcleo (beta menos), ou na diminuição de um próton no núcleo (beta mais), transformando um elemento em outro, com número atômico maior ou menor em uma unidade. Serão apresentados exemplos de elementos que passam por esse tipo de decaimento, como o carbono-14, que se transforma em nitrogênio-14, e o flúor-18, que se transforma em oxigênio-18.

Ainda durante o encontro, com o objetivo de finalizar a apresentação dos três tipos de decaimentos, será discutido o decaimento gama. Esse tipo de decaimento ocorrerá após os decaimentos alfa e beta, quando o núcleo ainda estiver em um estado excitado. O núcleo liberará a energia excessiva na forma de raios gama, que são radiações eletromagnéticas altamente penetrantes. Diferentemente dos outros tipos de decaimento, o número atômico e o número de massa do núcleo não mudarão durante o decaimento gama.

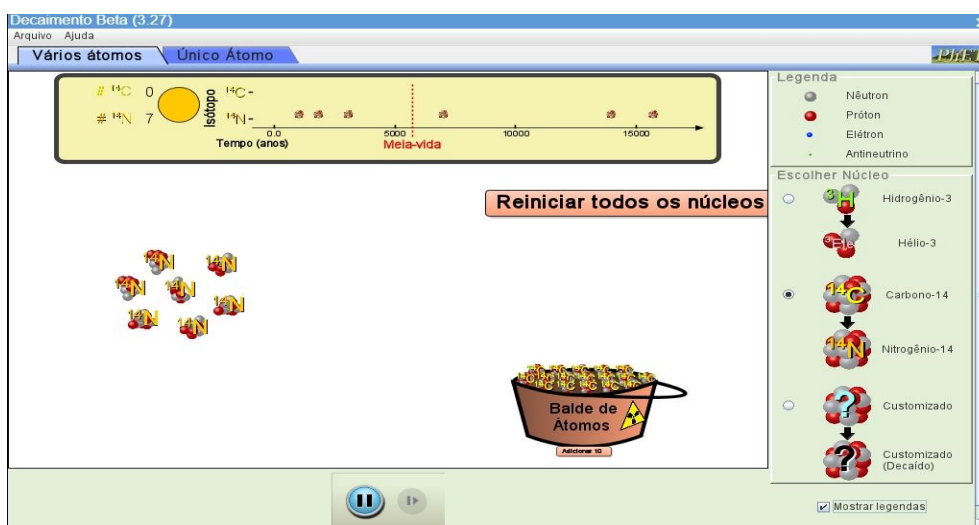
Será realizada uma comparação entre os tipos de decaimento estudados e seus poderes de penetração na matéria. Também será discutida a diferença entre radiações ionizantes e não ionizantes.

Para fortalecer o aprendizado, duas simulações interativas serão apresentadas, permitindo que os alunos explorem os diferentes tipos de decaimento e seus efeitos no núcleo atômico. As simulações estarão disponíveis na plataforma PHET, por meio dos links:

Decaimento alfa: <https://phet.colorado.edu/pt/simulations/alpha-decay>;



Decaimento beta: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay.



3º ENCONTRO: TEMPO DE MEIA-VIDA E APLICAÇÕES

Objetivo: Analisar as aplicações dos decaimentos radioativos e do conceito de tempo de meia-vida.

No terceiro encontro da sequência didática, os alunos explorarão o conceito de meia-vida e suas aplicações práticas em diversas áreas. Este conceito será introduzido através de uma discussão sobre como o tempo de meia-vida será utilizado para datar

fósseis e rochas, com enfoque no método de datação por carbono-14. Em seguida, será discutida a importância da medicina nuclear, com ênfase no uso de isótopos radioativos em tratamentos médicos, como no combate ao câncer. Além disso, será abordada a aplicação da energia nuclear, destacando tanto os benefícios quanto os desafios, incluindo as questões ambientais.

Tópicos abordados:

Datação de fósseis e rochas: Será apresentada uma explicação sobre como a análise de elementos radioativos presentes em fósseis e rochas permitirá determinar a idade aproximada desses materiais. A discussão proporcionará aos alunos uma compreensão de como essa técnica fornecerá informações cruciais para a reconstrução da história geológica da Terra e para a paleontologia. O método do carbono-14 será o exemplo central, detalhando como ele será usado para datar materiais orgânicos.

Medicina nuclear: Os alunos serão introduzidos à medicina nuclear, uma área que utiliza elementos radioativos para diagnósticos e tratamentos médicos. Será explicado como os radioisótopos serão empregados em exames de imagem, como a tomografia por emissão de pósitrons (PET), e nas terapias de combate ao câncer, como o uso de iodo radioativo no tratamento de câncer de tireoide. A importância da precisão no uso de isótopos será destacada, bem como os benefícios dessa tecnologia na área da saúde.

Geração de energia: As aplicações dos elementos radioativos na geração de energia serão discutidas, com ênfase na fissão nuclear em usinas nucleares. Serão apresentados os benefícios dessa fonte de energia, como a produção de grandes quantidades de eletricidade com baixas emissões de gases de efeito estufa. Contudo, também serão debatidos os desafios e riscos associados à energia nuclear, como o manejo de resíduos radioativos e os potenciais desastres ambientais, com exemplos históricos como o acidente de Chernobyl e Fukushima.

Após essa introdução, será apresentado o conceito de meia-vida, explicando como ele se relacionará com o tempo de decaimento de substâncias radioativas. Os alunos participarão de atividades práticas, realizando cálculos simples sobre a meia-vida de elementos radioativos específicos, como o carbono-14 e o urânio-238. Esses cálculos permitirão que os alunos compreendam, de forma quantitativa, o comportamento dos materiais radioativos ao longo do tempo.

Ao final do encontro, será reforçada a importância do conceito de meia-vida como uma ferramenta fundamental na compreensão e aplicação dos decaimentos radioativos em diferentes campos científicos. Será destacado como a capacidade de

prever o decaimento de metade de um material radioativo será essencial para a datação de fósseis e rochas, para o uso seguro de isótopos na medicina nuclear e para a operação das usinas nucleares. A compreensão desse conceito permitirá que os alunos reconheçam a importância da radioatividade em várias áreas da ciência e tecnologia, além de sua relevância para o cotidiano e a sociedade.

4º ENCONTRO: EFEITOS DA RADIOATIVIDADE

Objetivo: Debater e compreender a importância das discussões sobre segurança e consequências da radioatividade.

Dando início ao penúltimo encontro, serão retomados os principais conceitos estudados nos encontros anteriores sobre os tipos de decaimento radioativo e suas aplicações práticas. Será feita uma breve revisão dos conceitos dos decaimentos alfa, beta e gama, bem como do cálculo da meia-vida de elementos radioativos.

Prosseguindo com as atividades, será abordada a importância da segurança em relação à manipulação de materiais radioativos, assim como os riscos associados à exposição à radiação ionizante e como eles são controlados em aplicações cotidianas.

Deverá ser explicada aos alunos a importância da segurança no manuseio de materiais radioativos. Essa abordagem será feita mediante uma discussão de como os cientistas, técnicos e profissionais que lidam com esses materiais devem seguir protocolos rigorosos para evitar a exposição desnecessária à radiação ionizante. Deverão ser apresentados exemplos de equipamentos de proteção individual (EPIs) utilizados nessas situações, como aventais plumbíferos, luvas e óculos de proteção.

Um segundo ponto a ser abordado será os riscos associados à exposição à radiação ionizante. Serão analisados os riscos da exposição à radiação ionizante em diferentes doses e durações, além de uma explicação a respeito do fato de que a exposição excessiva pode causar danos aos tecidos e células do corpo humano, havendo também uma discussão sobre como a radiação pode afetar o DNA, aumentando o risco de desenvolver doenças, como o câncer.

Em se tratando do controle de riscos em aplicações cotidianas, serão apresentados exemplos de como a sociedade controla o uso da radioatividade em aplicações cotidianas. Por exemplo, será discutida a regulamentação na indústria,

medicina e pesquisa científica para evitar acidentes e minimizar a exposição a níveis perigosos de radiação.

Finalizando a apresentação do tema, serão discutidos os efeitos da radiação na saúde humana e no meio ambiente, com destaque para os impactos da exposição à radiação na saúde das pessoas e no meio ambiente, além de uma explicação sobre como a radioatividade pode afetar ecossistemas e provocar desequilíbrios na fauna e flora, reforçando a conscientização da necessidade de monitoramento e controle ambiental em atividades que envolvam elementos radioativos.

Para a conclusão e encerramento do encontro, deverá ser feita uma síntese dos principais pontos discutidos durante o debate, com um reforço sobre a importância de uma abordagem responsável e ética no uso da radioatividade, destacando que a ciência e a tecnologia devem estar a serviço do bem-estar da humanidade. Os alunos deverão ser incentivados a se manterem informados sobre os avanços na área e a participarem de discussões sobre questões científicas e sociais relacionadas à radioatividade. Por fim, o encontro será finalizado com o reforço da ideia de que a segurança, a responsabilidade e o conhecimento são fundamentais para lidar com essa poderosa ferramenta da ciência.

5º ENCONTRO: FINALIZAÇÃO E AVALIAÇÃO

Para finalizar a sequência de encontros citados acima, será proposta um momento avaliativo com o intuito de consolidar as ideias apresentadas pelo professor com os conhecimentos que serão adquiridos pelos alunos.

Fará parte do processo avaliativo a observação contínua do desempenho, a participação dos alunos durante os encontros, bem como a realização de um questionário final sobre os conteúdos que foram abordados durante a realização da sequência didática.

A avaliação final também consistirá na elaboração de mapas conceituais/mentais, nos quais os alunos farão as conexões entre todos os conceitos que serão considerados relevantes durante as aulas.

Importante: Durante todas as aulas, deverá ser reforçada a importância da segurança e conscientização sobre o uso da radioatividade na sociedade. Será incentivado o debate e a troca de ideias entre os alunos para enriquecer a aprendizagem. Serão utilizados recursos multimídia, experimentos ou simulações e materiais visuais para tornar o conteúdo mais acessível e interessante aos estudantes.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As faces da Física: volume único**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2002.

CHERRY, S. R.; SORENSEN, J. A.; PHELPS, M. E. **Physics in nuclear medicine**. 3rd ed. Philadelphia: Saunders, 2003.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

GASPAR, Alberto. **Física: volume único**. São Paulo: Ática, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: volume 4: óptica e física moderna**. Tradução e revisão técnica de Ronaldo Sérgio de Biasi. Reimpressão. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

KRANE, Kenneth S. **Introductory nuclear physics**. New York: Wiley, 1987.

MONTEIRO, Midiã M.; MARTINS, André Ferrer P. História da ciência na sala de aula: uma sequência didática sobre o conceito de inércia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, p. 4501-1–4501-9, 2015.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of radioactivity. *Philosophical Magazine*, v. 4, n. 5, p. 370–396, 1902.

SEARS, Francis W.; ZEMANSKY, Mark W. **Física: Mecânica, Termologia, Ondas**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1985.

TIPLER, Paul Allen; LLEWELLYN, Ralph A. **Física moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros: vol. 3: física moderna: mecânica quântica, relatividade e a estrutura da matéria**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Qual é a unidade básica da matéria?

- A) Molécula
- B) Célula
- C) Átomo
- D) Íon

2. Os prótons e nêutrons estão localizados em qual parte do átomo?

- A) Camadas eletrônicas
- B) Nuvem eletrônica
- C) Núcleo
- D) Orbital

3. Qual das alternativas a seguir descreve corretamente os elétrons?

- A) Partículas com carga positiva localizadas no núcleo
- B) Partículas sem carga localizadas no núcleo
- C) Partículas com carga negativa que orbitam o núcleo
- D) Partículas que formam o núcleo junto com prótons e nêutrons

4. O que caracteriza um isótopo de um elemento?

- A) A quantidade de prótons
- B) A quantidade de nêutrons
- C) A quantidade de elétrons
- D) O estado físico

5. Qual das opções a seguir é verdadeira sobre o número atômico de um elemento?

- A) Representa o número total de partículas no núcleo
- B) É igual ao número de nêutrons
- C) É igual ao número de prótons no núcleo
- D) Refere-se à soma de prótons e nêutrons

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO FINAL

1. O que caracteriza o decaimento alfa?

- A) Emissão de um elétron e um antineutrino
- B) Emissão de uma partícula composta por dois prótons e dois nêutrons
- C) Emissão de energia na forma de raios gama
- D) Conversão de um próton em um nêutron

2. Durante o decaimento beta menos, o que acontece no núcleo do átomo?

- A) Um nêutron se transforma em um próton
- B) Um próton se transforma em um nêutron
- C) Uma partícula alfa é emitida
- D) O núcleo se divide em dois núcleos menores

3. Qual é a principal característica do decaimento gama?

- A) Aumento do número atômico do elemento
- B) Emissão de raios gama sem alteração do número atômico ou de massa
- C) Transformação de um elemento em um isótopo diferente
- D) Redução da massa do núcleo

4. O que é o tempo de meia-vida de um isótopo radioativo?

- A) O tempo necessário para que a massa do isótopo se duplique
- B) O tempo necessário para que metade dos átomos de um isótopo decaia
- C) O tempo em que um elemento se torna estável
- D) O tempo necessário para que todos os átomos de um isótopo decaiam

5. Qual é uma aplicação prática dos isótopos radioativos na medicina?

- A) Tratamento de doenças autoimunes
- B) Diagnóstico por imagem e tratamento do câncer
- C) Análise química de alimentos
- D) Produção de energia em usinas nucleares