

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**JÚNIOR CÉSAR SILVA**

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS PARA O ENSINO DE  
RADIOATIVIDADE: UM ESTUDO FEITO COM ALUNOS DE ENSINO  
MÉDIO.**

**ALFENAS**

**2022**

**JÚNIOR CÉSAR SILVA**

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS PARA O  
ENSINO DE RADIOATIVIDADE: UM ESTUDO FEITO COM ALUNOS  
DE ENSINO MÉDIO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (UNIFAL-MG) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Célio Wisniewski.

**ALFENAS**

**2022**

**JÚNIOR CÉSAR SILVA**

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS PARA O  
ENSINO DE RADIOATIVIDADE: UM ESTUDO FEITO COM ALUNOS  
DE ENSINO MÉDIO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (UNIFAL-MG) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Célio Wisniewski.

Aprovado em:

Prof. Dr. Célio Wisniewski

Instituto de Ciências exatas – UNIFAL – MG

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Newton de Figueiredo Filho

Departamento de Física e Química – UNIFEI - MG

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. José Antônio Pinto

Instituto de Ciências exatas – UNIFAL – MG

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, inteligência, fé, serenidade e por permitir o alcance deste objetivo.

Agradeço também à Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG - pela oportunidade proporcionada.

Aos meus pais, além do amor incondicional, pelo apoio e pela perseverança nos momentos de dificuldades.

À minha esposa, pela força, incentivo e ajuda nos estudos.

Ao meu professor e orientador Dr. Célio Wisniewski, pela paciência, sapiência e pela grande contribuição, tanto como professor regente de aulas, quanto na orientação do meu trabalho final de graduação.

Aos professores da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, que lecionaram no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, e todos professores que muito contribuíram com minha formação.

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

## RESUMO

Muitos especialistas defendem a inserção de conteúdos da Física da Moderna e Contemporânea no ensino médio por favorecer a compreensão de fenômenos do cotidiano dos alunos, de origem natural ou tecnológica, e também por despertar o interesse e motivação dos alunos em sala de aula. Embora os conteúdos de Física Moderna sejam considerados importantes, ainda são pouco trabalhados no ensino médio. Dentre os tópicos de Física Moderna, a radioatividade chama a atenção por ser um tema controverso e que desperta o interesse e curiosidade dos alunos, tem relação direta com o cotidiano dos alunos, tem relação com uma relevante fonte de geração de energia, além de ter pouco material que aborda este tema. A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de sequências didáticas, que utilize vídeos e simulações computacionais como ferramentas pedagógicas, e que seja baseada nos três momentos pedagógicos, para trabalhar com a temática sobre *radioatividade* com os alunos do segundo ano do ensino médio com intuito de suavizar as dificuldades dos professores em ministrar aulas sobre este tema e contribuir para compreensão destes conceitos pelos alunos, de modo que consigam aprendizagem significativa. A aplicação do produto desta dissertação se deu em meio a pandemia de COVID-19, e uma parte foi realizada de forma remota e o restante de forma presencial. Antes e após a aplicação das sequências didáticas, foi aplicado aos alunos um questionário diagnóstico que permitiu avaliar a evolução no aprendizado dos alunos. Os resultados alcançados foram considerados satisfatórios, o que sugere o alcance da aprendizagem significativa pelos alunos dos conceitos estudados.

Palavras-chave: Radioatividade. Três momentos pedagógicos. Simulações computacionais.

## ABSTRACT

Many experts advocate the insertion of Modern and Contemporary Physics content in high school because it can favor the understanding of everyday phenomena from natural or technological origin, and also because it arouses the students' interest and motivation in the classroom. Although the contents of modern physics are considered important, they are still little studied in high school. Among the topics of modern physics, radioactivity draws attention because it is a controversial issue that arouses the students' interest and curiosity, is directly related to the students' daily lives, and is a relevant source of energy generation. The proposal of this work is to develop didactic sequences that uses videos and computer simulations as teaching tools, and that is based on the three pedagogical moments, to work with the theme of radioactivity with students in the second year of high school in order to reduce the difficulties of teachers in teaching this topic and contribute to the understanding of these concepts by students, so that they can achieve significant learning. The application of the product of this dissertation took place in the midst of the COVID-19 pandemic, and part of it was done remotely and the other was done face-to-face. Before and after the application of the didactic sequences, a diagnostic test was applied to the students to evaluate the evolution of their learning. The results achieved were considered satisfactory, which suggests the achievement of significant learning by students for the concepts studied.

Keywords: Radioactivity. Three pedagogical moments. Computer simulations.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados obtidos para as questões – Simulação monte o um átomo.....	63
Tabela 2 - Resultados obtidos para as questões – Simulação monte o um átomo: Isótopos .....	64
Tabela 3 - Resultados obtidos para a Questão 10 – Simulação monte o um átomo: Estáveis/instáveis (As respostas corretas estão em destaque) .....	65
Tabela 4 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão de um núcleo .....	66
Tabela 5 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão Nuclear: Reação em cadeia .....	67
Tabela 6 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão Nuclear: Reator Nuclear.....	68
Tabela 7 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão Nuclear: Bomba Nuclear.....	70
Tabela 8 - Resultados obtidos para as questões – História da Radioatividade.....	71
Tabela 8 - Resultados obtidos para as questões – Decaimento Alfa: Único átomo .....	72
Tabela 10 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Decaimento Alfa: Vários átomos.....	74
Tabela 11 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Decaimento Beta: Único átomo .....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Gráfico de Segrè. ....	35
Figura 2 - Gráfico energia de ligação por núcleon. ....	37
Figura 3 - Gráfico da quantidade de núclídeos (N) em função do tempo (t).....	39
Figura 4 - Diagrama esquemático de uma reação em cadeia de uma fissão nuclear....	44
Figura 5 – Vídeo 1: Como funciona uma usina nuclear? .....	49
Figura 6 - Vídeo 2: Hiroshima: o dia seguinte. ....	50
Figura 7 - Vídeo 3: A Fusão Nuclear Explicada: Energia do Futuro? .....	51
Figura 8 - Constituinte básico da matéria.....	52
Figura 9 - Vídeo 4: Física avançada – Física Nuclear: A descoberta da radioatividade .....	53
Figura 10 - Aula presencial: Decaimentos radioativos.....	61
Figura 11 - Slide: 1ª lei da radioatividade .....	73
Figura 12 - Dados coletados pelos alunos - Simulação decaimento alfa: Vários átomos. .....	74
Figura 13 - Simulação decaimento alfa: vários átomos - Gráfico de pizza realçando 50 núcleos decaídos.....	75
Figura 14 - Atividade Aluno 1: Representação gráfica dos núcleos que ainda não tinham decaído na simulação.....	76
Figura 15 - Slide 2ª lei da radioatividade. ....	79
Figura 16 - Simulação Monte um Átomo - tela inicial.....	104
Figura 17 - Simulação Monte um Átomo – Construir um átomo.....	104
Figura 18 - Simulação Monte um Átomo – Núclídeo $^1\text{H}$ .....	105
Figura 19 - Simulação Monte um Átomo – Núclídeo $^2\text{H}$ .....	105
Figura 20 - Simulação Monte um Átomo – Isótopos do hidrogênio: Hidrogênio-1, deutério e trítio. ....	106
Figura 21 Simulação Monte um Átomo – Isótopos do carbono: carbono-12, carbono-13 e carbono-14. ....	107
Figura 22 - Simulação Monte um Átomo – Isótopos estáveis/instáveis.....	108
Figura 23 - Simulação Fissão Nuclear – Fissão de um núcleo de $^{235}\text{U}$ . ....	109
Figura 24 - Simulação Fissão Nuclear – Fissão de um núcleo de $^{238}\text{U}$ . ....	110
Figura 25 - Simulação Fissão Nuclear – Momento em que o núcleo de $^{235}\text{U}$ fissiona. .....	111



Figura 26 - Simulação Fissão Nuclear – Reação de fissão nuclear em cadeia.....	112
Figura 27 - Simulação Fissão Nuclear – Reator nuclear. ....	113
Figura 28 - Simulação Fissão Nuclear – Reator nuclear: hastes de controle abertas. ....	114
Figura 29 - Simulação Fissão Nuclear – Bomba nuclear: tentativa 1. ....	115
Figura 30 - Simulação Fissão Nuclear – Bomba nuclear: tentativa 2. ....	115
Figura 31 - Simulação Decaimento Alfa – Único átomo de $^{211}\text{Po}$ . ....	116
Figura 32 - Simulação Decaimento Alfa – Núcleo customizado: vários átomos.....	117
Figura 33 - Simulação Decaimento Beta – Único átomo de $^3\text{H}$ . ....	119

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
3	JUSTIFICATIVA.....	17
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
4.1	Aprendizagem Significativa de Ausubel.....	19
4.1.1	Subsunçores.....	20
4.1.2	Organizadores Prévios.....	20
4.2	Problematização na proposta Freiriana.....	20
4.3	Os três momentos pedagógicos.....	22
4.3.1	Problematização Inicial.....	22
4.3.2	Organização do conhecimento.....	23
4.3.3	Aplicação do conhecimento.....	23
4.4	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).....	24
4.5	Uso das TICs no Ensino.....	25
4.6	Uso de vídeos em sala de aula.....	25
4.7	Uso de simuladores computacionais para o Ensino de Física.....	26
4.8	O ensino da radioatividade no Ensino Médio.....	27
4.8.1	Legislação brasileira de ensino.....	27
4.8.2	O ensino da radioatividade em sala de aula.....	28
5	FUNDAMENTOS DA RADIOATIVIDADE.....	34
5.1	Propriedades do núcleo.....	34
5.2	Isótopos.....	34
5.3	Radioatividade.....	35
5.4	Energia de ligação do núcleo.....	36
5.5	Força nuclear forte.....	37
5.6	Decaimento radioativo.....	37
5.7	Decaimento alfa.....	39
5.8	Decaimento beta.....	40
5.9	Radiação gama.....	42
5.10	Reações nucleares.....	42
5.11	Fissão nuclear.....	43
5.12	Fusão nuclear.....	44
6	METODOLOGIA.....	46
6.1	Seleção de conteúdos e elaboração das aulas.....	46
6.1.1	Tema 1: Energia nuclear: fissão e fusão nuclear.....	47
6.1.1.1	Sequência didática 1 – O núcleo atômico.....	47

6.1.1.2	Sequência didática 2 – Fissão nuclear .....	48
6.1.1.3	Sequência didática 3 – Fusão nuclear: a energia das estrelas .....	50
6.1.2	Tema 02 – História da Radioatividade.....	51
6.1.2.1	Sequência didática 4 – A história da radioatividade .....	51
6.1.3	Tema 03 – Reações de decaimento .....	53
6.1.3.1	Sequência didática 5 – Reações de decaimento .....	53
7	APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	55
7.1	Questionário prévio .....	56
7.2	Tema 01: Energia nuclear: fissão e fusão nuclear .....	57
7.3	Tema 02 – História da Radioatividade.....	59
7.4	Tema 03 – Reações de decaimento .....	61
8	ANÁLISE DE RESULTADOS .....	62
8.1	Análise das aulas do tema 1 - Energia nuclear: fissão e fusão nuclear .....	62
8.1.1	Estudo do núcleo utilizando o simulador monte um átomo.....	62
8.1.1.1	Simulação 01 – Construir Átomo .....	62
8.2.1.2	Simulação 02 – Isótopos .....	63
8.2.1.3	Simulação 03 – Núcleo estável/instável .....	64
8.1.2	Estudo da fissão nuclear utilizando o simulador fissão nuclear .....	65
8.2.2.1	Simulação 04 – Fissão de um núcleo.....	65
8.2.2.3	Simulação 06 – Reator nuclear .....	68
8.2.2.4	Simulação 07 – Bomba atômica .....	69
8.2	Análise das aulas do tema 2 – História da radioatividade.....	70
8.3	Análise das aulas do tema 3 – Decaimentos radioativos.....	71
8.3.1	Simulação 08 – Decaimento alfa: único átomo .....	71
8.3.2	Simulação 09 – Decaimento alfa: Vários átomos .....	73
8.3.3	Simulação 10 – Decaimento Beta: único átomo .....	77
8.4	Análise dos Dados dos Resultados: Pré e Pós-Teste.....	79
8.4.1	RESULTADOS E ANÁLISE POR QUESTÃO.....	80
8.5	Avaliação do curso pelos alunos .....	93
9	Conclusão	97
10	REFERÊNCIAS .....	99
	APÊNDICE .A Atividades com simuladores:.....	104

APÊNDICE .B	Questionário diagnóstico .....	121
APÊNDICE .C	Questionário Tema 02:.....	125

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo em que vivemos está passando por diversas transformações nos mais diversos setores do conhecimento, da cultura e da vida social. Muitas dessas transformações são decorrentes do crescente avanço científico e tecnológico. Este avanço se deve, em grande parcela, a várias teorias e leis físicas desenvolvidas a partir do século XX, e que geraram novos modelos com intuito de explicar a natureza, buscando chegar o mais próximo possível da realidade. A Teoria da Relatividade Restrita, a Mecânica Quântica e a Física de Partículas são alguns exemplos do desenvolvimento da Física no último século.

A inserção de conteúdos de Física Moderna no ensino médio é defendida por vários especialistas de ensino (TERRAZZAN, 1992; OSTERMANN; MOREIRA, 2000 ; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2000), haja vista que, dentre outros motivos, seu entendimento é importante para compreensão de fenômenos do cotidiano dos alunos, de origem natural ou tecnológica, e também para despertar o interesse e motivação dos alunos em sala de aula.

Dentro das propostas da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), para o estudo das ciências da natureza e suas tecnologias, está “investigar características, fenômenos e processos relativos ao mundo natural e tecnológico” (BRASIL, 2017, P. 471). Almeida (2018) aponta algumas aplicações de conhecimento relacionados a Física Quântica que fazem parte do cotidiano de boa parcela dos alunos do ensino médio:

Estas tecnologias podem ser encontradas nas áreas da Tecnologia da Informação e Comunicação (celulares, smartphones, câmeras fotográficas, filmadoras, computadores, etc); na medicina (medicina nuclear – ressonância nuclear magnética, cirurgia a laser); nos dispositivos ópticos (câmeras de segurança, portas eletrônicas e lasers) e em outras aplicações como a nanotecnologia, em que apresentam aplicações de conhecimentos relacionados à Física Quântica (ALMEIDA, 2018, p. 19).

Dentre os objetivos principais de se estudar Física Moderna no ensino médio pode se considerar o fato dos conceitos serem atrativos por fazerem parte do desenvolvimento tecnológico atual, e por estarem presentes na vida cotidiana do aluno, possibilitando a compreensão da relevância da pesquisa para a sociedade. Biazus (2015) soma a esse interesse a possibilidade de proporcionar ao aluno condições de criar novas alternativas científicas e tecnológicas e para que haja uma futura inovação, trazendo benefícios para a sociedade.

Ostermann e Moreira (2000), ao apontar a importância do ensino de tópicos da Física Moderna no ensino médio, ressaltam que o ensino destes tópicos pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando

a visão linear e cumulativa do desenvolvimento científico presentes nos livros didáticos e na maioria das aulas de física.

Embora os conteúdos de Física moderna sejam considerados importantes, ainda são pouco trabalhados no ensino médio. Essa ausência é reafirmada nos Parâmetros Curriculares Nacionais:

Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica. (BRASIL, 2000, p.8)

Os objetivos da legislação educacional vigente devem contemplar aspectos básicos (conhecimentos da Física que permitem uma discussão mais ampla de aspectos específicos de Ciência e Tecnologia associados) para o ramo da Física, além do objetivo de preparar o aluno para o ensino superior. Também tem o objetivo de permitir ao aluno pensar e interpretar o mundo que o rodeia, ou seja, favorecer o pensamento crítico, além de favorecer a inserção destes no mercado de trabalho, e a melhor compreensão dos fenômenos da natureza e das tecnologias presentes em seu cotidiano.

Diversos fatores podem dificultar ou impedir o ensino de Física Moderna no ensino médio, tais como a falta de tempo, a pouca carga horária semanal, insegurança ou falta de formação do professor, e até mesmo a defasagem de aprendizagem dos alunos que chegam ao ensino médio, entre outros (ROCHA et al., 2017).

Em 1998, em um estudo Delphi realizado entre físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do ensino médio, Ostermann e Moreira levantaram quais tópicos de Física Contemporânea deveriam ser abordados no ensino médio para uma possível atualização do currículo, chegando nos seguintes conceitos: efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, átomo de Bohr, emissão de radiação, forças fundamentais, estrutura molecular, partículas elementares, fissão e fusão nuclear, radioatividade, leis de conservação, relatividade restrita, origem do universo (Big Bang e Big Crunch?), entre outros, e as respectivas aplicações tais como o estudo de metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, fibras ópticas, microscopia eletrônica, etc (OSTERMANN; MOREIRA, 1998).

Dentre os tópicos de Física moderna acima citados, a radioatividade chama a atenção por ser um tema controverso, que desperta o interesse e curiosidade dos alunos, tem relação direta com o cotidiano dos alunos, e está relacionada a uma relevante fonte de geração de energia, além disso existem poucos materiais que abordam este tema no ensino médio.

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de sequências didáticas, que utilizem vídeos e simulações computacionais como ferramentas pedagógicas, e que sejam baseadas nos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti, para trabalhar com a temática sobre *radioatividade* os alunos do segundo ano do ensino médio, de uma turma do turno matutino, de uma escola pública situada na cidade de Juruáia-MG, com intuito de suavizar as dificuldades dos professores em ministrar aulas sobre este tema e contribuir para compreensão destes conceitos pelos alunos, de modo que adquiram uma aprendizagem significativa.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver sequências didáticas que contemplem os conceitos da radioatividade, de modo que auxiliem a prática futura de professores nesta temática.

Como objetivos específicos temos:

- Motivar o interesse dos alunos com conteúdo de Física mais recente que aqueles da Física Clássica;
- Promover a aprendizagem significativa dos conceitos relacionados à radioatividade e as suas aplicações;
- Estimular a reflexão e o pensamento crítico dos alunos;
- Desmistificar a radioatividade e a energia nuclear como sendo algo unicamente ruim e perigoso.



### 3 JUSTIFICATIVA

A inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM), apenas pelo seu conteúdo específico, já se justificaria, porém é através destes conteúdos que podemos caracterizar um grandioso movimento da Física e da História da Ciência Moderna, onde as relações científicas se deram por meio de “debates, discussões das discussões, das evidências e contradições experimentais e de todas as controvérsias geradas bem como um movimento histórico-científico que trouxe profundas modificações na maneira de ver o mundo” (PERFOL e REZENDE JR, 2006, p. 56).

De acordo com Silva e Almeida (2011), a relevância de se ensinar Física Moderna no EM parece ser cada vez mais consenso entre os pesquisadores do Ensino de Física, e além disso, a FMC é importante para compreensão de fenômenos do cotidiano dos alunos, de origem natural ou tecnológica, e também desperta o interesse e motivação dos alunos pela ciência.

Diversos avanços tecnológicos, que são decorrentes ou explicadas pelo estudo e desenvolvimento da radioatividade, estão presentes no cotidiano dos alunos, como no tratamento de doenças como o câncer, em alimentos, na agricultura, na televisão, nos raios solares, no estudo de armas nucleares e na energia nuclear.

De acordo com a WNA (*World Nuclear Association*), em novembro de 2020, a energia elétrica produzida a partir do núcleo atômico representava 10,1% de toda energia elétrica produzida no planeta Terra, sendo produzida por 440 reatores nucleares. Segundo a IEA (*International Energy Agency*) a energia nuclear evitou nos últimos 50 anos que se emitisse 55 Gt (gigatoneladas) de CO<sub>2</sub>, sendo considerada a segunda fonte mundial de energia de baixo carbono, o que demonstra sua relevância para o desenvolvimento sustentável e a coloca como setor estratégicos de vários países.

Além disso, os estudos sobre a radioatividade possibilitaram o conhecimento de alguns constituintes básicos da matéria. Vale ressaltar que foi a partir da descoberta da radioatividade e da Física Nuclear que a Física de Partículas foi desenvolvida.

Além do mais, radioatividade e energia nuclear são temas controversos que causam desconfiança, medo e repulsa em boa parte da sociedade, muitas vezes fomentados pelos meios de comunicações e fazem com que as pessoas tenham concepções errôneas acerca destes temas, sendo de suma importância a abordagem destes em sala de aula com fim de desmistificar a radioatividade e a energia nuclear e fomentar o pensamento crítico dos alunos.

Por fim, são poucos os materiais que abordam o ensino da radioatividade no EM, e muitos livros didáticos de Física não contemplam este conteúdo, o que torna relevante uma proposta de ensino que contemple este conteúdo (DIAS et al., 2013).

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel consiste numa teoria da aprendizagem segundo a qual o estudante utiliza seus conhecimentos prévios sobre determinado tema para ancorar novos conhecimentos. Para ancorar esses novos conhecimentos, se faz necessário o uso de organizadores prévios, que segundo Magalhães et al (2002) servirão de ponte sobre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa. Contudo, como condição básica para aprendizagem significativa, é necessário que o aluno esteja predisposto a aprender.

De acordo com Ausubel (2003), podemos considerar que a aprendizagem significativa ocorre quando as ideias explicitadas de modo simbólico relacionam de modo substancial e não-arbitrário com o que a pessoa já sabe, ou seja, as novas ideias se relacionam com conhecimentos prévios relevantes da pessoa. Neste processo de interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, os conhecimentos novos passam a ter significação para a pessoa, e os conhecimentos já existentes ganham novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Tavares (2004) aponta a relação entre os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendente com o conhecimento novo:

Um aprendente que tenha conhecimentos prévios sobre as características de mamíferos terrestres usará esses atributos, quando se deparar com novas informações sobre mamíferos aquáticos. Esses conhecimentos (sangue quente, respiração através do oxigênio gasoso, gestação interna, etc.) auxiliarão a entender o comportamento dos mamíferos aquáticos e servirão como âncora na aquisição do novo conhecimento. Na interação entre o conhecimento novo e o antigo, ambos serão modificados de uma maneira específica por cada aprendente, como consequência de uma estrutura cognitiva peculiar a cada pessoa. Depois do aprendizado sobre mamíferos aquáticos, o aprendente terá uma concepção mais inclusiva sobre os mamíferos, onde antes só existiam os terrestres. E, por outro lado, ao aprender as características do movimento dos mamíferos aquáticos, ele saberá que o forma todos corpos desses animais obedecem às mesmas leis da hidrodinâmica, também obedecidas pelos peixes. TAVARES (2004).

Ausubel (2003) reforça a interação das ideias significativas com os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz para se chegar à aprendizagem significativa e ancorar novos conhecimentos:

O conhecimento é significativo por definição. É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (“saber”) que envolve a interação entre ideias “logicamente” (culturalmente) significativas, ideias anteriores (“ancoradas”) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos. (AUSUBEL, 2003).

### 4.1.1 Subsunoçores

Segundo Moreira (2012), a Aprendizagem Significativa ocorre devido à aquisição de conteúdo por meio de sua interação substantiva e não arbitrária com os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendente. David Ausubel chamava esses conhecimentos já existentes ou conhecimentos prévios de subsunoçores, ou ainda de conceitos âncoras. Subsunoçor é uma palavra que tenta traduzir a inglesa “*subsumer*”. Os subsunoçores atuam dentro da estrutura cognitiva do aprendente como âncoras que direcionam a assimilação dos novos conhecimentos.

### 4.1.2 Organizadores Prévios

Organizadores prévios ou antecipatórios são recursos que são apresentados com objetivo de ativarem os subsunoçores importantes para aprendizagem da informação que será ensinada. Para Ausubel (2003), os organizadores prévios são estratégias didáticas que têm como principal função fazer uma conexão entre aquilo que o aprendiz já sabe com o conteúdo que deve ser aprendido.

Moreira (2012) define o que são os organizadores prévios:

Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si. Contrariamente a sumários que são, de um modo geral, apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e abrangência simplesmente destacando certos aspectos do assunto, organizadores são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. (MOREIRA, 2012, p. 2).

Ausubel propõe o uso de organizadores prévios como estratégia para manipular a estrutura cognitiva de modo que facilite a aprendizagem significativa.

## 4.2 PROBLEMATIZAÇÃO NA PROPOSTA FREIRIANA

Para uma prática de ensino problematizadora, dentro da proposta freiriana, se faz necessário uma reestruturação dos conteúdos programáticos a serem trabalhados pelos professores, de modo a abordar temas que estão em consonância com situações cotidianas da realidade vivida pelos alunos, que sejam significativas para estes. O diálogo deveria ser estruturado ao redor de uma situação, e/ou fenômeno que pertence à realidade do estudante (MARENGÃO, 2012).

Segundo Delizoicov (1982), a discussão de problemas da realidade do aluno em sala de aula transcende uma simples intenção de motivar o discente, sendo o próprio objeto da proposta pedagógica, juntamente com a compreensão e transformação dessa realidade.

Ainda, segundo Delizoicov (2001), “problematizar” é:

1 - a escolha e formulação adequada de problemas, que o aluno não se formula, de modo que permitam a introdução de um novo conhecimento (para o aluno), ou seja, os conceitos, modelos, leis e teorias da Física, sem as quais os problemas formulados não podem ser solucionados. Não se restringe, portanto, apenas a apresentação de problemas a serem resolvidos com a conceituação abordada nas aulas, uma vez que esta ainda não foi desenvolvida! São, ao contrário, problemas que devem ter o potencial de gerar no aluno a necessidade de apropriação de um conhecimento que ele ainda não tem e que ainda não foi apresentado pelo professor[...]; 2 - um processo pelo qual o professor ao mesmo tempo que apreende o conhecimento prévio dos alunos, promove a sua discussão em sala de aula, com a finalidade de localizar as possíveis contradições e limitações dos conhecimentos que vão sendo explicitados pelos estudantes, ou seja, questiona-os também. Se de um lado o professor procura as possíveis inconsistências internas aos conhecimentos emanados das distintas falas dos alunos para problematizá-las, tem, por outro, como referência implícita o problema que será formulado e explicitado para os alunos no momento oportuno bem como o conhecimento que deverá desenvolver como busca de respostas. A intenção é ir tornando significativo, para o aluno, o problema que oportunamente será formulado (DELIZOICOV, 2001).

Ainda dentro do pensamento de Paulo Freire, a prática da educação libertadora, ou problematizadora, é aquela que se constrói por meio de diálogos entre educadores e educandos, numa relação horizontal, sendo possível conhecer a realidade do aluno para poder transformá-la. O ponto de partida da educação libertadora é o diálogo, sendo necessário ouvir a comunidade para poder encontrar os temas significativos, chamados por Freire de temas geradores. Esses Temas Geradores são obtidos a partir de um processo denominado Investigação Temática (FREIRE, 1987).

O processo de Investigação Temática é pautado no processo de codificação-problematização-descodificação, e foi proposto por Freire (1987) para se chegar ao Tema Gerador. Delizoicov (1991) sintetiza esse processo de investigação, para ser utilizado nas circunstâncias da educação formal, organizando-o em cinco etapas: 1ª) O levantamento preliminar, que é um reconhecimento local feito pela equipe de educadores, valendo-se de visitas, conversas com moradores, e por outras fontes de obtenção de dados, na busca informações para conhecer a realidade local em que os alunos vivem. Nessa etapa ocorre a primeira aproximação e um levantamento inicial de dados; 2ª) A análise das situações e escolha das codificações é a etapa em que ocorre a análise das informações obtidas no levantamento preliminar, e a escolha de contradições sociais, vividas pelos sujeitos deste grupo; 3ª) Os diálogos descodificadores originam-se da discussão problematizada das contradições vividas, e ocorre a verificação de quão relevantes, ou não, são as codificações para a comunidade

escolar; 4ª) A redução temática é a etapa em que ocorre a seleção do conceitos científicos que são necessários para compreender o tema; 5ª) Trabalho em Sala Aula é a etapa em que ocorre o desenvolvimento do Tema Gerador em sala de aula (DELIZOICOV, 1991; GEHLEN, 2009).

### 4.3 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

De acordo com Delizoicov (2001), na atividade cotidiana em sala de aula, o processo codificação-problematização-descodificação, processo pelo qual são desenvolvidos os Temas Geradores, é estruturado por meio daquilo que ele chamou de “momentos pedagógicos”. São três os momentos pedagógicos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

Os três momentos pedagógicos fazem parte do processo de Investigação Temática de Paulo Freire, mais precisamente da etapa da redução temática (4ª etapa) e da etapa do trabalho em sala de aula (5ª etapa), sendo utilizados para estruturarem o planejamento, e também como estratégia didática para se trabalhar em sala de aula (MARENGÃO, 2012).

Os três momentos pedagógicos são, portanto, um desdobramento da educação problematizadora de Paulo Freire, que parte do conhecimento prévio dos alunos, e tópicos de ciências que sejam considerados significativos para estes, e utiliza-se dos problemas como geradores de necessidade de apropriação de novos conhecimentos.

#### 4.3.1 Problematização Inicial

Também conhecida como estudo da realidade, é a etapa inicial, em que são apresentadas aos alunos, questões e/ou situações reais do conhecimento, ou presenciadas por eles, e que necessitam do conhecimento acerca das teorias físicas para uma correta interpretação. Partindo dessas questões ou situações reais, é realizada a problematização do conhecimento dos alunos, de modo que eles são instigados a exporem o que pensam sobre as situações, sendo possível traçar um panorama das concepções deles sobre estes temas. Delizoicov, Angotti & Pernambuco (1990a) enfatizam a função deste primeiro momento:

Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29)

Na problematização inicial o professor tem uma função coordenadora, de modo a questionar o posicionamento dos alunos e fomentar o debate das opiniões divergentes, lançar mão de dúvidas acerca do assunto, devendo evitar responder ou fornecer explicações (DELIZOICOV, 2001).

Esse momento pedagógico tem como objetivo “propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão” (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 200).

O ápice da problematização inicial é criar nos estudantes a necessidade de adquirir novos conhecimentos que ainda não tenham, de modo que eles se sintam desafiados e compreendam a situação em debate como um problema que precisa ser enfrentado e que precisa ser resolvido (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002).

#### **4.3.2 Organização do conhecimento**

Este é o segundo momento pedagógico, e é nesse momento que os conhecimentos de Física que os alunos ainda não possuíam acerca dos temas, e necessários para compreensão, ou para solucionar os problemas da problematização inicial, devem ser por eles angariados. Então, tendo o professor como orientador (que neste momento passa a ter um papel mais ativo), estes conhecimentos serão sistematicamente estudados pelos alunos, aprofundando teorias, conceitos, relações, e demais conteúdos apresentados na problematização inicial (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002).

O professor pode utilizar uma diversidade de atividades para organizar o conhecimento, como “exposição, formulação de questões, texto para discussões, trabalho extraclasse, revisão e destaque dos aspectos fundamentais, experiências” (MUENCHEN, DELIZOICOV, 2014, p. 624), dentre outras.

#### **4.3.3 Aplicação do conhecimento**

Este é o terceiro e último momento pedagógico e consiste na aplicação de atividades que possibilitam abordar de forma sistemática o conhecimento que foi integrado ao sistema cognitivo do aluno. Na aplicação do conhecimento tanto situações referentes à problematização inicial quanto situações distintas destas, mas que podem ser compreendidas valendo-se dos mesmos conceitos podem ser abordadas (MARENGÃO, 2012; DELIZOICOV, ANGOTTI, 1990a).

#### 4.4 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa é um tipo de sequência didática, proposta por Moreira (2011), podem ser consideradas sequências de ensino que não sejam mecânicas e que tenham fundamentação teórica, com intuito de promover a aprendizagem significativa.

São oito os aspectos sequenciais da UEPS, segundo Moreira (2011):

- 1ª etapa: Definir o tópico que será trabalhado, de modo a verificar os conhecimentos prévios e as conexões que podem ser estabelecidas com novo conhecimento;
- 2ª etapa: criar, ou propor situações que façam com que o aluno exponha seu conhecimento prévio acerca de aspectos relacionados ao tópico que está sendo abordado;
- 3ª etapa: Introdução, por meio de situações problema, ao tópico de estudo. As situações problemas podem ser por meio de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, dentre outros;
- 4ª etapa: Apresentação dos novos conteúdos que devem ser ensinados, considerando a diferenciação progressiva;
- 5ª etapa: Continuação da etapa 4, onde deverá ser retomado os aspectos mais gerais e estruturantes do conteúdo da sequência didática, aumentando a complexidade em relação à etapa anterior, de modo a promover a reconciliação integradora. Esta retomada pode ser por meio de uma breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, dentre outros;
- 6ª etapa: Retomar os aspectos mais relevantes do conteúdo da sequência didática valendo-se de uma nova apresentação de significados, aumentando o grau de complexidade dos tópicos em questão;
- 7ª etapa: Avaliação da UEPS (que deve ser realizada durante todo o processo de implementação). Todo e qualquer indício de aprendizagem significativa do conteúdo deve ser registrado. Além da avaliação processual, deve ocorrer também uma avaliação formativa;



- 8ª etapa: A UEPS terá êxito se for possível evidenciar a aprendizagem significativa dos alunos.

#### 4.5 USO DAS TICS NO ENSINO

As tecnologias da informação e comunicação (TICs) consistem em todo conjunto de tecnologias envolvidas nos processos informacionais e comunicativos da sociedade, podendo também ser consideradas como “um conjunto de recursos tecnológicos integrados entre si, que, por meio das funções de hardware, software e serviços de telecomunicações, proporcionam a automação e a comunicação dos processos de negócios, da pesquisa científica e de ensino e aprendizagem” (CANÔAS, 2012, p. 86).

O uso de TICs pode ser considerado uma importante ferramenta em situações que envolvem ensino e aprendizagem. Para Farias (2013), valer-se de ferramentas tecnológicas em ambientes de ensino e aprendizagem é relevante para incrementar os recursos didáticos, promover a inclusão digital, e a troca de informações e vivências entre os estudantes. Para Ricoy e Couto (2014) “no âmbito educativo, o termo inovação refere-se à incorporação de componentes novas que permitam melhorar, produzir mudanças entendidas como elemento de renovação pedagógica”.

Segundo Gonçalves et al. (2003) as TICs são recursos auxiliares ao aprendizado, sendo possível apreender por meio da interação e da visualização de modelos baseados na realidade, o que ajuda na assimilação ou reformulação de conceitos, facilitando o ensino e a aprendizagem.

Várias são as TICs que podem ser utilizadas no processo de ensino, porém focaremos apenas nas simulações computacionais e vídeos, que serão utilizados nas sequências didáticas.

#### 4.6 USO DE VÍDEOS EM SALA DE AULA

Para Caldas e Silva (2001) o vídeo tem a capacidade de promover aos alunos uma aprendizagem bem sucedida, visto que é uma excelente mídia para difusão de informação e tem uma boa capacidade de representação e ilustração.

Caldas e Silva (2001) listam os seguintes argumentos e pontos positivos para se utilizar vídeos em sala de aula:

A informação torna-se mais motivadora, pela capacidade que o vídeo tem em provocar emoções. [...] É possível adequar a informação ao grupo destinatário. [...]

Permite grande versatilidade durante a visualização (congelamento de imagem, retrocesso de imagem, aceleração, etc.). [...] Facilita a comunicação de problemas complexos. Implicitamente os documentos apresentam informação contextualizada que pode ajudar os alunos. (CALDAS e SILVA, 2001, p. 696)

Nunes (2017), citando Berk (2009), elenca uma série de resultados potenciais, decorrentes da apresentação de um bom vídeo em sala de aula, que podem ser levados em consideração no momento de escolha do vídeo a ser passado para os alunos ante a vastidão de vídeos disponíveis na *web*:

Prender a atenção dos estudantes; focar a concentração dos estudantes; gerar interesse na aula; criar uma sensação de antecipação; energizar ou relaxar os estudantes para exercícios de aprendizagem; atrair a imaginação dos estudantes; melhorar as atitudes em relação ao conteúdo e à aprendizagem; construir uma conexão com outros estudantes e o professor; aumentar a memória do conteúdo; aumentar a compreensão; fomentar a criatividade; estimular o fluxo de ideias; fomentar uma aprendizagem mais profunda; proporcionar uma oportunidade para a liberdade de expressão; servir de veículo de colaboração; inspirar e motivar os estudantes; fazer o aprendizado divertido; definir humor ou tom apropriado; diminuir a ansiedade e a tensão em tópicos mais difíceis; criar imagens visuais memoráveis. (BERK, 2009, p. 2, apud NUNES, 2017, p. 66)

#### 4.7 USO DE SIMULADORES COMPUTACIONAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA

Alguns conceitos de Física envolvem um alto grau de abstração para poderem ser compreendidos. Outros fenômenos físicos fogem da percepção dos sentidos humanos, como corpos a altíssimas velocidades, partículas subatômicas e outros conceitos complexos. Há ainda uma dificuldade em representar movimento utilizando objetos inanimados, como numa ilustração de um livro. Os defensores da inserção da informática afirmam que uma solução para estes problemas seria o uso de simulações e animações (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Numa simulação computacional são aplicados modelos matemáticos empregados em softwares com intuito de reproduzir ou representar uma situação real. Na Física as simulações buscam ilustrar e representar um fenômeno físico real.

Medeiros e Medeiros (2012) apresentam as simulações como sendo representações ou modelagens de objetos específicos reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos, tendo utilidade quando a experiência for difícil, ou praticamente impossível de ser realizada ou reproduzidas em situações normais pelos estudantes. As simulações também são úteis quando

envolvem experimentos de alto custo, ou perigosos, ou quando envolvem situações extremamente rápidas ou lentas.

#### 4.8 O ENSINO DA RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Nesta seção são apresentados documentos básicos que regulam o ensino de Física no Ensino Médio no Brasil. A seguir é apresentado o Currículo Básico Comum (CBC) de Física no Estado de Minas Gerais, destacando as recomendações para o ensino do tema Radioatividade. No final, serão discutidos os objetivos da Radioatividade no Ensino Médio e as dificuldades em sua implementação nas salas de aula.

##### 4.8.1 Legislação brasileira de ensino

A Lei de Diretrizes e Bases (LDB), lei 9394/96 é o principal documento que organiza e regulamenta a educação brasileira. Além da LDB, outros documentos auxiliam, orientam e norteiam os professores na prática educacional, vislumbrando a formação científica e cidadã dos estudantes do ensino médio: os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN's), as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Já a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que traz uma base nacional comum e obrigatória, para toda rede de educação básica, para que sejam elaborados propostas pedagógicas e currículos (Brasil, 2017).

De acordo com a LDB, o ensino médio deve ser a etapa que conclui a educação básica, e que os currículos do ensino fundamental e do ensino devem ter uma base nacional comum, sendo esta base complementada com particularidades diversificadas de cada sistema de ensino e estabelecimento escolar, no tocante às características regionais, sociais, de cultura, e economia dos alunos. Além disso, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional garante a promoção do conhecimento científico-tecnológico dos processos produtivos e uma preparação básica para o trabalho (BRASIL, 1996, artigo 26 da LDB/96).

A LDB dispõe também as finalidades do ensino médio:

Art 35. O Ensino Médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades: I –a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no Ensino Fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos; II –a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores; III –o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico; IV –A compreensão dos fundamentos

científicos-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina (BRASIL, 1996).

Tanto os PCN, quanto os PCN+ visam dar subsídios aos professores em sua área para reorientar o ensino, que deixaria de ser centrado no conhecimento e passaria centrar-se na construção de habilidades e competências (Brasil, 2002).

Uma das diferenças do PCN+ para os PCN's é a proposição de abordagens temáticas, dispondo sobre a necessidade de clareza dos objetivos educacionais do trabalho pedagógico orientado por competências (Rezende Júnior, et al., 2006).

Para o ensino de Física, são sugeridos os seguintes temas estruturadores abaixo:

- Tema 01 - Movimentos, variações e conservações;
- Tema 02 - Calor, ambiente e uso da energia;
- Tema 03 - Som, imagem e informação;
- Tema 04 - Equipamentos elétricos e telecomunicações;
- Tema 05 - Matéria e Radiação;
- Tema 06 - Universo, Terra e vida.

#### **4.8.2 O ensino da radioatividade em sala de aula**

Sua forte relação com diversos fatores históricos, sociais, tecnológicos, econômicos e científicos, faz a radioatividade ser um dos conteúdos de Física de extrema importância para a formação do aluno. Sendo assim, tanto os PCN's quanto o PCN+, quanto o CBC do estado de Minas Gerais trazem recomendações para o ensino da temática radioatividade em sala de aula.

Além da relevante contribuição da temática radioatividade na construção do conhecimento que temos hoje acerca da constituição da matéria, e pela energia nuclear ter papel estratégico em muitos países, também é importante que o aluno do ensino médio tenha conhecimento das tecnologias que utilizam radiações, pois possibilita a este adquirir competências, e ter o pensamento crítico para avaliar condições de riscos e benefícios que envolvam a utilização de diferentes radiações, além de sua utilização na medicina, em diagnósticos, na agricultura, na produção de energia e em outros setores. Conforme afirmado nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio (2002):

O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. Introduzir esses assuntos no ensino médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os

problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática [...] São esses modelos explicativos de matéria, de radiação e de suas interações que também possibilitam o desenvolvimento de novos materiais como cerâmicas, cristais e polímeros ou novos sistemas tecnológicos como microcomputadores, combustíveis nucleares, rastreamento por satélite, lasers e cabos de fibra óptica [...] A compreensão desses aspectos pode propiciar, ainda, um novo olhar sobre o impacto da tecnologia nas formas de vida contemporâneas, além de introduzir novos elementos para uma discussão consciente da relação entre ética e ciência (BRASIL, 2002, p. 77).

Os PCN+ trazem sugestões e propostas para o professor de Física trabalhar com a temática radiações:

Quadro 1 - Tema estruturador - proposta unidades temáticas

<p>Unidade 5.1: Matéria e suas propriedades</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utilizar os modelos atômicos propostos para a constituição da matéria para explicar diferentes propriedades dos materiais (térmicas, elétricas, magnéticas etc.).</li> <li>• relacionar os modelos de organização dos átomos e moléculas na constituição da matéria às características macroscópicas observáveis em cristais, cristais líquidos, polímeros, novos materiais etc.</li> <li>• compreender a constituição e organização da matéria viva e suas especificidades, relacionando-as aos modelos físicos estudados.</li> </ul>
<p>Unidade 5.2: Radiações e suas interações</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios <math>\gamma</math>) e sua utilização através das tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de micro-onda, tomografia etc.);</li> <li>• compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias;</li> <li>• avaliar efeitos biológicos e ambientais do uso de radiações não ionizantes em situações do cotidiano.</li> </ul>

Unidade 5.3: Energia nuclear e Radioatividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da radioatividade e radiações ionizantes.</li> </ul>

Fonte: Elaborada pelo autor com base no PCN+, 2002

O CBC para a disciplina de Física do estado de Minas Gerais no ensino médio, propõe valorizar fenômenos do cotidiano dos alunos, a tecnologia, os conhecimentos produzidos pela Física contemporânea e a relação interdisciplinar da Física com as demais disciplinas.

No quadro abaixo, contém a proposta curricular do CBC da disciplina de Física para a temática radioatividade, junto com o detalhamento das habilidades que se pretende que o aluno adquira:

Quadro 2 - Proposta curricular CBC – Radioatividade

<b>Tópico/ Habilidades</b>	<b>Detalhamento das Habilidades</b>
52. Radioatividade 52.1 Compreender o fenômeno da radioatividade e suas aplicações	52.1.1. Conhecer algumas das partículas do núcleo atômico e suas cargas e massas. 52.1.2. Compreender a radioatividade como resultado da quebra do núcleo atômico instável. 52.1.3 Conhecer a natureza das partículas alfa e beta e da radiação gama. 52.1.4. Conhecer o significado do termo "meia vida".

	52.1.5. Compreender o significado de fissão e fusão nucleares.
	52.1.6. Compreender alguns usos da radioatividade incluindo o uso de radioatividade para datarem fósseis e rochas.

Fonte: CBC, 2007.

A BNCC foi homologada em 2017, porém sua implantação no ensino médio, que teve início em 2020, tem como prazo final para implantação o ano de 2022. Em seu texto constam as habilidades e competências que o professor deve buscar desenvolver com o aluno durante o ensino médio.

Na BNCC, competência é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho. Ao definir essas competências, a BNCC reconhece que a “educação deve afirmar valores e estimular ações que contribuam para a transformação da sociedade, tornando-a mais humana, socialmente justa e, também, voltada para a preservação da natureza”. (BRASIL, 2017, p. 8)

A BNCC prevê o desenvolvimento de competências e habilidades relacionadas à radioatividade e à Física Nuclear, conforme mostra o quadro 3:

Quadro 3 - Competência e habilidades relacionadas à radioatividade presentes na BNCC

<b>Competência específica</b>	<b>Habilidades</b>	<b>Possibilidade</b>
Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.	Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que	Estimular estudos referentes a: estrutura da matéria; transformações químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia e da quantidade de movimento; ciclo da água; leis da termodinâmica; cinética e equilíbrio químicos; fusão e fissão nucleares; espectro eletromagnético; efeitos

	<p>priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas</p>	<p>biológicos das radiações ionizantes;</p>
	<p>Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.</p>	
	<p>Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.</p>	
	<p>Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as</p>	



	<p>demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.</p>	
--	--	--

Fonte: O autor com base na BNCC.

## 5 FUNDAMENTOS DA RADIOATIVIDADE

Neste capítulo são apresentados alguns fundamentos fenomenológicos e matemáticos, acerca de conceitos relacionados à radioatividade, como as propriedades do núcleo e as reações nucleares.

### 5.1 PROPRIEDADES DO NÚCLEO

A matéria é constituída por átomos, que por sua vez possuem um núcleo circundado por elétrons. Este núcleo é formado por núcleons (prótons e nêutrons). Estes núcleons são formados por partículas ainda menores, chamadas de quarks e glúons.

Quase toda massa do átomo se localiza em seu núcleo. É utilizado “A” para representar a quantidade de núcleons presentes no núcleo ( $A = \text{número de prótons} + \text{número de nêutrons}$ ). Essa quantidade de núcleons também recebe o nome de número de massa, pelo motivo de ser o número inteiro mais próximo da massa do núcleo em unidade de massa atômica (u) (YOUNG; FREEDMANN, 2008). A unidade de massa atômica foi definida de tal forma que a massa atômica carbono-12 tivesse 12 u (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

$$1 u = 1,66053886(28) \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

O total de prótons existentes no núcleo, é distinto para cada elemento químico, e é representado por “Z”, como sendo o número atômico.

Um nuclídeo é um núcleo com Z prótons e  $n$  nêutrons.

Usualmente, representam um nuclídeo X das seguintes formas:

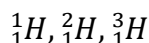
$${}^A_ZX_n, \text{ ou } {}^A_ZX, \text{ ou } {}^AX.$$

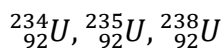
“ $n$ ” representa o número de nêutrons presentes no núcleo.

### 5.2 ISÓTOPOS

O que difere um elemento do outro é a quantidade de prótons em seu núcleo, porém um mesmo elemento pode possuir quantidades diferentes de nêutrons no núcleo. Esses elementos que possuem o mesmo número atômico, mas números de nêutrons diferentes são chamados de isótopos.

Exemplo de isótopos:





Existem os isótopos estáveis e os isótopos radioativos, também chamados de radioisótopos. Os isótopos radioativos decaem naturalmente emitindo radiação por meio de ondas eletromagnéticas e por partículas.

### 5.3 RADIOATIVIDADE

Um nuclídeo é radioativo quando ele não é estável e emite radiação espontaneamente sob a forma de ondas eletromagnéticas (radiação gama) ou partículas (alfa e beta), de modo o núcleo a atingir níveis de energia mais estáveis (TIPLER; MOSCA, 2009) (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

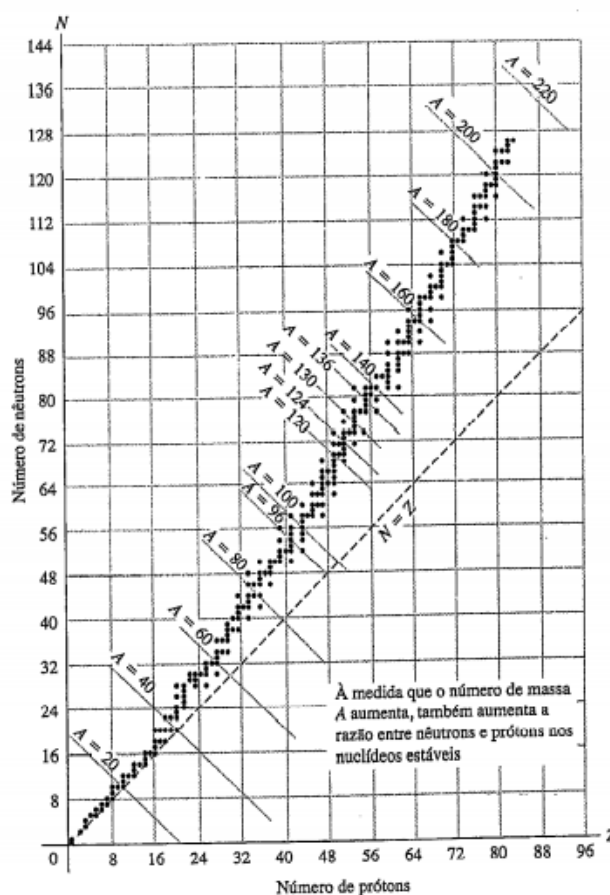


Figura 1- Gráfico de Segrè.  
Fonte: (YOUNG; FREEDMANN, 2008)

Pelo Gráfico de Segrè é possível perceber a relação entre o número de nêutrons e prótons para estabilidade nuclear. Até por volta de  $Z=20$  a razão  $n/Z$  é aproximadamente igual a 1 (mesma quantidade de nêutrons e prótons) para que estes núcleos sejam estáveis. A partir

daí a razão  $n/Z$  cresce gradualmente com  $A$  até chegar a 1,6, mostrando que quanto mais prótons há no núcleo, maior é a interação elétrica repulsiva entre estas partículas, sendo necessário cada vez mais nêutrons para manter a estabilidade. O gráfico também mostra que não há núcleos estáveis com  $A > 208$  (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009) (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

#### 5.4 ENERGIA DE LIGAÇÃO DO NÚCLEO

Chamamos de energia de ligação de um núcleo ( $E_B$ ) a diferença entre a energia de repouso do núcleo e o somatório das energias de repouso das partículas existentes no núcleo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

$$E_B = \sum (mc^2) - Mc^2$$

$$E_B = (Zm_p + nm_n)c^2 - Mc^2 = \text{energia de ligação} \quad (4.1)$$

Onde  $Zm_p$  é a massa total dos prótons do núcleo,  $nm_n$  é a massa total dos nêutrons do núcleo,  $M$  é a massa de repouso do núcleo e  $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$ . A razão  $E_B/c^2$  representa a perda de massa dos constituintes para formar o núcleo (YOUNG; FREEDMANN, 2008). Para poder separar as partículas do núcleo é necessário fornecer ao núcleo uma energia  $E_B$  ao núcleo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

A maioria dos nuclídeos possuem energia de ligação por núcleon ( $E_{Bn}$ ) dentro do intervalo de 7 a 9 MeV (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

$$E_{Bn} = \frac{E_B}{A} \text{ (Energia de ligação por núcleons)} \quad (2)$$

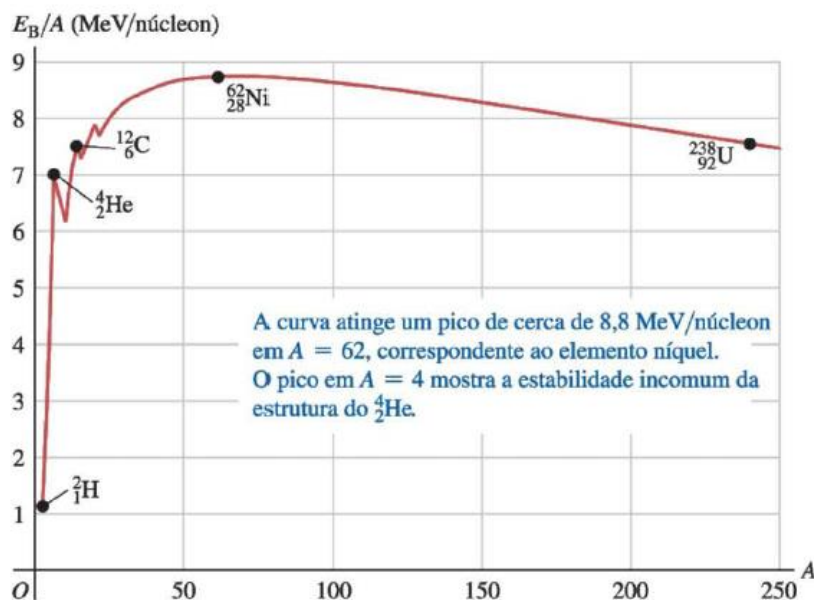


Figura 2 - Gráfico energia de ligação por núcleon.  
Fonte: Young; Freedmann, 2016.

Na região do ferro-56 e níquel-62 tem um máximo da energia de ligação por núcleon, representando uma região de maior estabilidade.

## 5.5 FORÇA NUCLEAR FORTE

É a força nuclear forte que é a responsável por manter os prótons e nêutrons coesos no núcleo. Em distâncias muito pequenas, da ordem do raio do núcleo (da ordem de fm – femtômetro –  $10^{-15}$  m), a força forte é superior à força eletromagnética, por este motivo sendo considerada de curto alcance. Ela age tanto sobre os prótons que possuem carga elétrica quanto sobre os nêutrons que são neutros (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

## 5.6 DECAIMENTO RADIOATIVO

A grande maioria dos nuclídeos são instáveis (cerca de 90% dos 2500 nuclídeos conhecidos), sendo, portanto, radioativos. Estes nuclídeos emitem espontaneamente radiação sob a forma de ondas ou partículas de altíssima energia, podendo transformar-se em outro nuclídeo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009) (YOUNG; FREEDMANN, 2008). Esse processo é conhecido por decaimento radioativo, desintegração radioativa ou ainda transmutação nuclear.

Não é possível prever o momento exato em que cada nuclídeo irá decair, porém é possível saber a taxa de decaimento dos núcleos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). A taxa com que os nuclídeos decaem ( $-dN/dt$ ) é proporcional à quantidade de nuclídeos ( $N$ ) presentes na amostra:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (4.2)$$

Onde  $\lambda$  é uma constante de decaimento que possui valores distintos para cada radionuclídeo. A taxa com que os nuclídeos decaem ( $-dN/dt$ ) também é chamada de atividade, e representa o número de decaimentos radioativos por unidade de tempo de uma amostra radioativa. O sinal negativo em  $-dN/dt$  representa que a quantidade de nuclídeos radioativos ( $N$ ) está diminuindo com o tempo.

No sistema internacional, a unidade de atividade é o *becquerel*, em homenagem ao descobridor da radioatividade Henri Becquerel:

$$1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ decaimento por segundo}$$

Outra unidade muito utilizada é o curie:

$$1 \text{ curie} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

É possível determinar a quantidade de nuclídeos  $N$  em função do tempo  $t$ . Separando as variáveis em (4.2) e integrando de  $t_0 = 0$  (quando a quantidade de nuclídeos radioativos é a quantidade inicial representada por  $N_0$ ) até  $t$  (quando sobram  $N$  nuclídeos):

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt \rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \quad (4.3)$$

Tomando a exponencial em ambos os membros de (4.3) temos:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad (4.4)$$

Isolando  $N$  conseguimos determiná-lo em função do tempo  $t$ :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4.5)$$

É chamado de meia-vida ( $T_{1/2}$ ) o intervalo de tempo necessário para que se reduza à metade o número original de nuclídeos radioativos ( $N_0$ ) (TIPLER; MOSCA, 2009). Também é necessário que decorra o mesmo intervalo de tempo para que a metade dos nuclídeos restantes decaiam, e assim sucessivamente. Cada nuclídeo radioativo tem um tempo de meia-vida distinto.

Para calcular o tempo de meia-vida basta substituir na equação (4.5)  $N$  por  $N_0/2$  (metade dos nuclídeos iniciais da amostra) e encontrar o valor de  $t$ , que chamaremos de  $T_{1/2}$ :

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (4.6)$$

A atividade depende exponencialmente do tempo de acordo com  $e^{-\lambda t}$ . Sendo assim o gráfico da atividade radioativa em função do tempo descreve uma curva representada na Erro! Fonte de referência não encontrada..

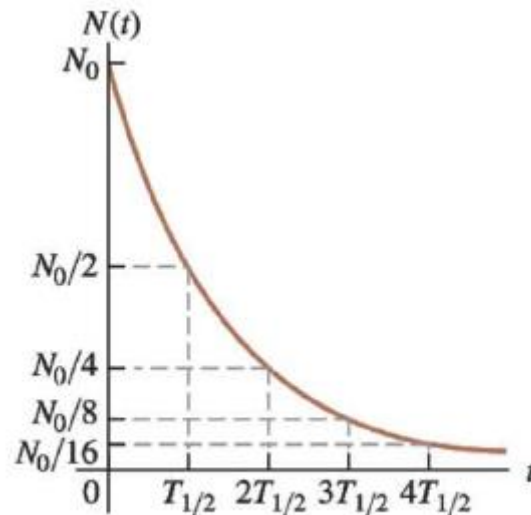


Figura 3 - Gráfico da quantidade de núcleos (N) em função do tempo (t)  
Fonte: Young; Freedmann, 2016.

Núcleos instáveis podem se desintegrar espontaneamente emitindo uma partícula alfa ou uma partícula beta, dando origem a outros núcleos. Além disso, núcleos excitados podem emitir um fóton com frequência na faixa dos raios gama, passando para um estado de menor energia, sem dar origem a novos núcleos.

## 5.7 DECAIMENTO ALFA

A partícula  $\alpha$  é um núcleo de  ${}^4_2\text{He}$  ionizado (+2) que possui dois nêutrons e dois prótons, e spin total igual a zero e geralmente são emitidos por núcleos pesados para que estes fiquem mais estáveis. Ao emitir uma partícula  $\alpha$  o núcleo diminui  $Z$  e  $N$  em duas unidades, e  $A$  em quatro unidades, o que faz o núcleo ficar mais próximo da região de estabilidade do gráfico de Segrè (YOUNG; FREEDMANN, 2008). Considerando  $X$  como o núcleo pai e  $Y$  como o núcleo filho, podemos representar o decaimento alfa como:

$${}^A_ZX = {}^4_2He + {}^{A-4}_{Z-2}Y \text{ (conservação do número de núcleons e carga)} \quad (4.7)$$

A partícula  $\alpha$  pode ser emitida espontaneamente quando o núcleo neutro pai apresenta uma massa (energia de repouso) maior que a soma das massas dos núcleos filhos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Um exemplo, é o decaimento do  ${}^{238}_{92}U$ , que decai emitindo partícula  $\alpha$ , transformando-se em  ${}^{234}_{90}Th$  por meio da reação:



Para um núcleo, a energia de desintegração ( $Q$ ) é decorrente da diferença entre as energias de repouso inicial e final (do produto do decaimento).

$$Q = (M_i - M_f)c^2 \quad (4.9)$$

A energia liberada pela desintegração  $\alpha$  se apresenta na forma de energia cinética dos produtos do decaimento, sendo quase toda da partícula  $\alpha$ , que possui menor massa. Cabe ressaltar que a energia de repouso inicial ( $M_i$ ) antes da desintegração alfa é maior que a massa final dos produtos do decaimento ( $M_f$ ).

Gamow, e independentemente, Condon, no ano de 1928 desenvolveram uma teoria baseada na mecânica quântica, onde a partícula  $\alpha$  é pré-formada no interior do núcleo, estando aprisionada pelas barreiras potenciais nucleares e coulombianas, podendo atravessar apenas por meio do processo quântico de tunelamento (Oliveira, 2014).

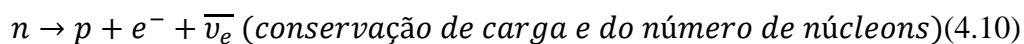
A partícula  $\alpha$  possui carga positiva, velocidade de aproximadamente  $1,52 \cdot 10^7$  m/s (aproximadamente 5% da velocidade da luz) e seu poder de penetração é pequeno, sendo detida por uma folha de papel, ou alguns centímetros de ar (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

## 5.8 DECAIMENTO BETA

O decaimento beta –  $\beta$  ocorre quando o núcleo radioativo decai espontaneamente, emitindo um elétron ( $\beta^-$ ) ou um pósitron ( $\beta^+$  - antipartícula do elétron). Ocorre pelo excesso, ou pela falta de nêutrons necessários para que o nuclídeo fique mais estável (TIPLER; MOSCA, 2009). Assim como no decaimento  $\alpha$ , no decaimento  $\beta$  o núcleo também vai transmutar transformando-se em um nuclídeo diferente.

A partícula  $\beta^-$  é emitida por um nuclídeo instável. Pode parecer estranho a ideia de emissão de um elétron pelo núcleo, uma vez que no núcleo não tem elétrons, porém esse tipo de decaimento envolve a transformação de um nêutron em três partículas (um próton  $p$ , um elétron  $e$  e um antineutrino  $\bar{\nu}_e$ ) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Essa transformação do nêutron é representada na equação abaixo:





Por conta desta transformação, após a emissão  $\beta^{-}$  a quantidade de prótons no núcleo aumenta em uma unidade, acrescendo assim uma unidade em Z. Por sua vez o número de massa A não sofre alterações<sup>1</sup>, e a quantidade de nêutrons diminui uma unidade. Considerando X como o núcleo pai e Y como o núcleo filho, podemos representar o decaimento  $\beta^{-}$  negativo como:



Na situação em que a massa atômica do átomo neutro original radioativo for maior que a massa do átomo neutro final<sup>2</sup>, é possível a emissão de uma partícula  $\beta^{-}$  (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

A velocidade da partícula  $\beta^{-}$  pode chegar até 0,9995 da velocidade da luz, e é de 50 a 100 vezes mais penetrantes que a partícula  $\alpha$ , sendo detidas por 1 cm de alumínio, e podem percorrer centenas de centímetros no ar (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

A partícula  $\beta^{+}$  é emitida por um nuclídeo instável. Neste tipo de decaimento, um próton também se transforma em três partículas, sendo um nêutron, um pósitron e um neutrino (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).



Com a emissão  $\beta^{+}$ , diminui a quantidade de prótons no núcleo em uma unidade, diminuindo assim Z em uma unidade, e a quantidade de nêutrons aumenta uma unidade, fazendo com que o número de massa A permaneça inalterada.



Este tipo de decaimento pode ocorrer se a diferença entre a massa atômica do átomo original e átomo final for superior que duas vezes a massa do elétron (YOUNG; FREEDMANN, 2008).<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Lei da conservação das massas (Lavosier, 1785): a soma das massas dos reagentes é igual a massa do produto. Contexto da Química e da Física Clássica.

<sup>2</sup> Massa no contexto da teoria da relatividade: toda massa tem uma energia associada, e vice-versa. Uma pequena variação da massa se converte em energia (equivalência massa-energia).

<sup>3</sup> No decaimento  $\beta^{+}$  um pósitron é ejetado do núcleo pai, e também diminui a quantidade de prótons no núcleo em uma unidade. Então o átomo filho deve liberar um elétron orbital para equilibrar a carga. A massa de dois elétrons é ejetada do átomo (que é a massa de um pósitron e de um elétron), e o decaimento  $\beta^{+}$  somente é energeticamente possível se a massa do átomo pai for maior que a massa do átomo filho em pelo menos duas massas do elétron (1,022 MeV).

## 5.9 RADIAÇÃO GAMA

Do mesmo modo que os átomos, a energia do núcleo é quantizada. Desse modo, o núcleo apenas pode existir em determinados estados ou níveis de energia. Ao passar de um estado mais excitado para um de menor energia, é emitido um fóton ( $\gamma$  - raios gama) muito energético (de 10 keV até 5 MeV) com frequência na faixa dos raios  $\gamma$ . Esse processo é chamado de decaimento  $\gamma$  (TIPLER; MOSCA, 2009) (YOUNG; FREEDMANN, 2008). Diferentemente das partículas  $\alpha$  e  $\beta$  no decaimento  $\gamma$  não ocorre a transmutação nuclear.

A radiação  $\gamma$  é uma onda eletromagnética, sem massa de repouso e nem carga elétrica, que possui velocidade igual a velocidade da luz, altamente penetrante, sendo necessário espessas paredes de chumbo, ou concreto para detê-la.

## 5.10 REAÇÕES NUCLEARES

Quando dois, ou mais núcleos se movem em rota de colisão, e mesmo havendo a repulsão coulombiana, se ficarem tão próximos de modo a haver interação entre as partículas dos núcleos pelas forças nucleares, ocorrendo uma redistribuição dos núcleons, ocorre uma reação nuclear. De modo usual, produz-se reações nucleares utilizando-se alguma partícula ou núcleo pequeno como projétil para bombardear um núcleo alvo (TIPLER; MOSCA, 2009).

Considerando a reação nuclear como um sistema fechado envolvendo apenas os núcleos que estão interagindo, ela deve obedecer às leis de conservação da carga e do número de massa, conservação dos momentos linear e angular e conservação da energia (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

A energia da reação é obtida pela relação massa-energia  $E=mc^2$ . Considerando as partículas iniciais A e B que interagem formando as partículas finais C e D, a energia da reação nuclear  $Q$  é obtida pela relação:

$$Q = (M_A + M_B - M_C - M_D)c^2 \quad (4.14)$$

Quando  $Q$  é negativa, a reação nuclear é endotérmica, sendo necessário energia externa para acontecer. Quando  $Q$  é positiva a reação é classificada como exotérmica, envolvendo liberação de energia (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

Para que partículas eletricamente carregadas, como a partícula  $\alpha$  ou o próton, possam penetrar em um outro nuclídeo, é necessário que ele tenha energia cinética suficiente para vencer a barreira da repulsão elétrica gerada pelas forças coulombianas.

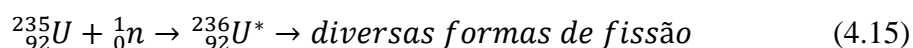
Os mais importantes tipos de reações nucleares são a fissão e a fusão nuclear.

## 5.11 FISSÃO NUCLEAR

A fissão nuclear ocorre quando um núcleo pesado se desintegra em dois núcleos menores de massas comparáveis (fragmentos da fissão) (YOUNG; FREEDMANN, 2008). A fissão nuclear envolve liberação de grande quantidade de energia, uma vez que a soma das massas dos produtos da fissão é menor que a dos constituintes da fissão (TIPLER; MOSCA, 2009). A quantidade total de prótons e nêutrons se conserva após ocorrer a fissão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

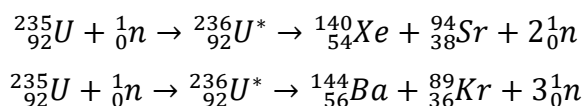
A fissão pode ser espontânea (do mesmo modo em que ocorre o decaimento  $\alpha$ ) ou pode ser induzida por uma reação nuclear. Para ocorrer a fissão nuclear induzida é necessário que o núcleo a ser fissionado receba energia, chamada de energia de ativação. Usualmente utiliza-se nêutrons para fornecer essa energia de ativação ao núcleo.

Utilizam-se da fissão nuclear induzida para produção de energia. Um elemento muito utilizado para produção de energia em usinas nucleares é o urânio-235 ou  ${}_{92}^{235}\text{U}$ . Podemos representar a fissão deste elemento na equação abaixo:



Ao capturar o nêutron térmico (nêutron com energia cinética em torno de 0,3 MeV), aumenta o número de massa em uma unidade, e passa a ser o isótopo  ${}_{92}^{236}\text{U}$ , que fica altamente instável (o asterisco na fórmula representa esta instabilidade), vindo a se quebrar. Podem ser produzidos com a fissão uma diversidade de combinação de núcleos mais leves que o  ${}_{92}^{236}\text{U}$ , sendo necessário que a quantidade de prótons e nêutrons após a fissão permaneça a mesma que antes da fissão.

As seguintes reações de fissão demonstram a conservação da carga e a conservação do número de núcleons:



Nestas reações de fissão a energia cinética todas dos produtos da fissão é de aproximadamente 200 MeV (YOUNG; FREEDMANN, 2008). É possível perceber que os fragmentos da fissão são formados pelos núcleos filhos e pelos nêutrons livres (geralmente aparecem 2 ou 3 nêutrons livres por núcleo fissionado). Esses nêutrons livres são importantes pois podem encontrar outros núcleos físeis, que também vão se partir emitindo novos nêutrons livres, e assim sucessivamente, podendo vir começar uma reação em cadeia autossustentada. É

enorme a energia liberada em uma reação em cadeia (em torno de 200 MeV por átomo de  $^{235}_{92}\text{U}$  ).

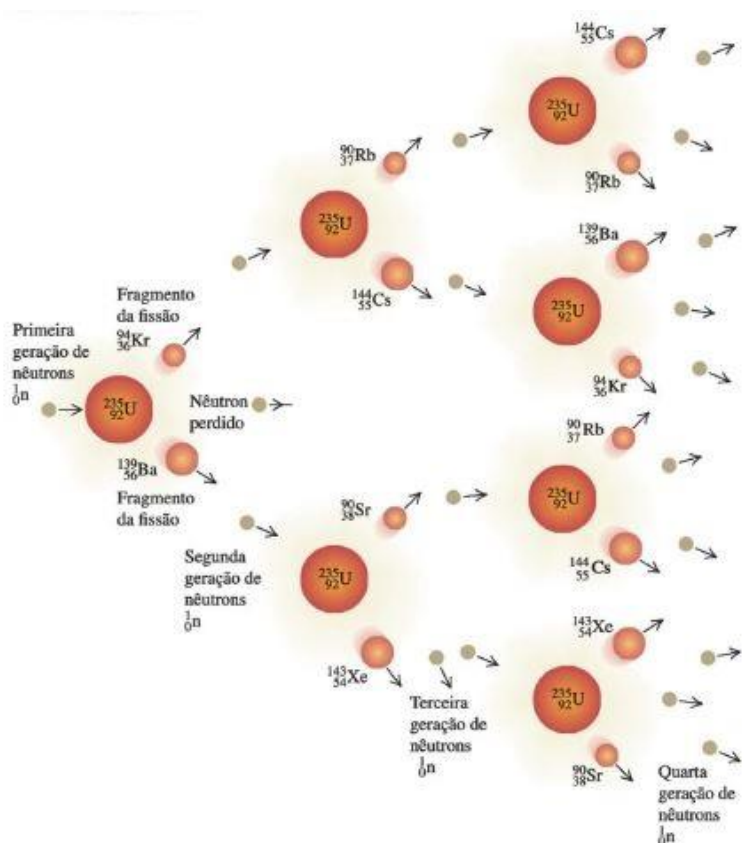


Figura 4 - Diagrama esquemático de uma reação em cadeia de uma fissão nuclear.  
Fonte: Young; Freedmann, 2016.

## 5.12 FUSÃO NUCLEAR

A fusão nuclear ocorre quando dois, ou mais núcleos, se fundem formando um único núcleo, mais pesado. Para que esses núcleos possam se colidir e haver interação entre seus núcleons formando um novo núcleo é necessário que estes tenham inicialmente energia cinética suficiente para vencer a força de repulsão coulombiana, e para que a força nuclear forte passe a ser mais dominante e efetiva sobre os núcleons (TIPLER; MOSCA, 2009) (YOUNG; FREEDMANN, 2008). É por meio da fusão nuclear que a energia é produzida na maioria das estrelas.

Para fusão de átomos leves, a barreira coulombiana é menor, e a massa do núcleo após a fusão é menor que a soma das massas dos núcleos que se fundiram, o que faz com que uma grande quantidade de energia seja liberada nessa reação (TIPLER; MOSCA, 2009). Além

disso, quando a soma do número de massa  $A$  é menor que 60, a energia de ligação por núcleon aumenta após a fusão, o que favorece uma provável reação exoenergética (YOUNG; FREEDMANN, 2008).

Para produzir muitas fusões num curto intervalo de tempo gerando energia útil é necessário aumentar a temperatura de modo que os núcleos obtenham energia suficiente, por meio da agitação térmica, para vencer a barreira eletrostática (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

A energia cinética mínima pode ser obtida nas equações a seguir:

$$K \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_1 Z_2 e^2}{(R_1 + R_2)} \quad (4.16)$$

Onde  $Z_1$  e  $Z_2$  são os respectivos números atômicos e  $R_1$  e  $R_2$  são os raios dos núcleos.

$$K = kT \quad (4.17)$$

Onde  $K$  é a energia mínima,  $k$  a constante de Boltzmann e  $T$  a temperatura absoluta.

## 6 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia que será utilizada na aplicação deste projeto de mestrado, bem como a forma como as sequências didáticas estão organizadas e as propostas de aulas a serem executadas.

### 6.1 SELEÇÃO DE CONTEÚDOS E ELABORAÇÃO DAS AULAS

A metodologia desta pesquisa tem características de uma pesquisa qualitativa, de cunho social e de natureza interpretativa, onde o pesquisador e os sujeitos da pesquisa (estudantes) estão relacionados de modo cooperativo e participativo, na aplicação das sequências didáticas.

O desenvolvimento deste projeto de mestrado se dará por meio da aplicação de sequências didáticas que têm o intuito de desenvolver os conceitos referentes ao tema radioatividade, além de motivar os alunos com os conteúdos mais recentes de Física, e conteúdos relacionados ao cotidiano dos alunos.

Para elaboração das sequências didáticas, buscou-se conteúdos pertinentes, relacionados à temática radioatividade, que tenham relação com avanços tecnológicos, ou com o cotidiano dos alunos, e que contemplem os conteúdos, capacidades e habilidades relacionados a essa temática presentes nos documentos básicos que regulam o ensino de Física na educação básica brasileira. Como ferramenta didática serão utilizados vídeos e simulações computacionais para demonstrações, explicações e realização de atividades relacionadas aos fenômenos físicos envolvidos, ilustrando e representando os fenômenos que podem ser considerados alto grau de abstração, perigosos, difíceis ou impossíveis de serem vistos a olho nu, facilitando e possibilitando a aprendizagem do aluno.

Sendo assim, as sequências didáticas serão organizadas em três temas:

- Tema 1 – Energia nuclear: fissão e fusão nuclear;
- Tema 2 – História da radioatividade;
- Tema 3 – Reações de decaimento;

Cada tema será abordado valendo-se dos três momentos pedagógicos, onde na problematização inicial ocorrerão questionamentos e debates, com intuito de criar no aluno a necessidade de adquirir um conhecimento ainda não presente em sua estrutura cognitiva. Em seguida já inicia o segundo momento pedagógico, a organização do conhecimento, onde os conhecimentos necessários para compreender e responder os questionamentos iniciais serão

apresentados aos alunos. Finalizando com o terceiro momento pedagógico, onde o aluno deverá aplicar o novo conhecimento adquirido.

A primeira aula será destinada para apresentação do projeto aos alunos e para levantamento dos conhecimentos prévios por meio de um questionário diagnóstico (Apêndice B). Para levantamento de dados, todas as aulas serão gravadas e transcritas na íntegra. Apenas após o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos que será iniciado o trabalho com o tema 1. Ao final da aplicação das sequências didáticas, o questionário diagnóstico será aplicado novamente para efeito de comparação e análise de resultados.

Os temas serão divididos em 12 aulas de 50 minutos. As sequências didáticas serão aplicadas no segundo semestre de 2021, numa escola da rede estadual de Minas Gerais, situado no município de Juruiaia – MG, envolvendo todos os alunos do 2º ano do ensino médio, no período matutino. A turma em questão possui 34 alunos matriculados e o projeto será realizado no regime híbrido, com uma parte sendo realizada à distância, e o restante será realizado de forma presencial.

A seguir, serão apresentados os planos de aulas das sequências didáticas, que serão seguidos, com os detalhes de sua aplicação.

### **6.1.1 Tema 1: Energia nuclear: fissão e fusão nuclear**

#### **6.1.1.1 Sequência didática 1 – O núcleo atômico**

**Objetivos:** Apresentar as partículas que compõe o núcleo. Compreender as principais forças fundamentais da natureza que agem nas partículas nucleares. Compreender os conceitos de número atômico e número de massa. Desenvolver os conceitos de isótopos e de estabilidade nuclear. Compreender que a quantidade de prótons no núcleo é distinta para cada elemento químico.

**Recursos Utilizados:** Material didático, computador e simulações computacionais.

**Tempo estimado:** Uma aula de 50 min.

**Desenvolvimento:** Inicia-se esta aula com aplicação do primeiro momento pedagógico, a problematização inicial, que ocorre por meio de questionamentos sobre o que é o átomo, que tem dentro dele e o que possui dentro do núcleo e sobre o que difere um material do outro.

Em seguida, por meio de slides, serão feitas explicações sobre algumas características do núcleo atômico, dos núcleons, número atômico, número de massa, sobre a representação

dos núclídeos e sobre o que eram os isótopos. Em seguida, serão apresentados e explicados os dois principais tipos de forças que agem nas partículas nucleares: a interação eletromagnética e a interação nuclear forte. Por fim será explicado o conceito de estabilidade nuclear.

A aplicação do conhecimento se dará por meio de atividades envolvendo simulações computacionais que estão disponíveis nos apêndices A1, A2 e A3.

**Avaliação:** A participação do estudante em todas etapas, e atividades envolvendo simulações computacionais.

### 6.1.1.2 Sequência didática 2 – Fissão nuclear

**Objetivos:** Compreender como ocorre a produção de energia no processo de fissão nuclear, e o que acontece com o núcleo dos elementos nessa reação nuclear. Compreender o núcleo atômico como potencial fonte de energia. Compreender como ocorre a reação em cadeia. Entender o funcionamento de um reator nuclear e de uma bomba atômica.

**Recursos Utilizados:** Material didático, computador e simulações computacionais.

**Tempo estimado:** Uma aula de 50 min.

**Desenvolvimento:** Inicia-se esta aula com aplicação do primeiro momento pedagógico, a problematização inicial, que ocorre por meio de questionamentos sobre a produção de energia em usinas nucleares, da origem da energia produzida em usinas nucleares, como é possível quebrar o átomo e como é possível gerar energia nesse processo.

Em seguida, por meio de slides, será explicado o processo de fissão nuclear e como esse processo pode gerar energia. Para explicar a origem da energia nuclear serão apresentados os conceitos de estabilidade nuclear, de energia de ligação do núcleo atômico e a relação massa-energia da teoria da relativística, introduzindo a equação de Einstein ( $E = m.c^2$ ) para mostrar como parte da massa é transformada em energia em uma reação nuclear. De modo a demonstrar a potencialidade da energia nuclear, será feita a comparação entre a energia gerada em uma reação química (queima de 1 kg de lenha) e em uma reação nuclear (fissão de 1 kg de U-235).

Em seguida será trabalhado o gráfico da energia nuclear de ligação por núcleon ( $E/A$ ) em função do número de núcleons do átomo de modo a demonstrar essa relação com a estabilidade do núcleo e o motivo de se usar átomos pesados na fissão nuclear e átomos leves na fusão nuclear.

A seguir, serão explicadas a diferença de entre elemento físsil e elemento fissionável, e como ocorre a reação em cadeia e a importância em enriquecer o urânio-238 para a reação em



cadeia, e o funcionamento do reator nuclear e a geração de energia elétrica em usinas nucleares. Para trazer ao visível o processo de fissão nuclear e realizar as explicações entre a diferença entre elemento físsil e fissionável, massa crítica, reação em cadeia e reator nuclear, e para aplicação do conhecimento será utilizada a simulação “Fissão nuclear”, desenvolvida pelo grupo Phet, da Universidade do Colorado. Para ilustrar e demonstrar o funcionamento de uma usina nuclear, será passado o vídeo 1, intitulado “Como funciona uma usina nuclear?”.



Figura 5 – Vídeo 1: Como funciona uma usina nuclear?

Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3r6A3mb>>. Acesso em 16 de jan. 2021.

Como uso negativo da energia nuclear serão apresentados os princípios físicos, como a reação de fissão nuclear em cadeia não controlada, envolvidos nas bombas atômicas lançadas em Hiroshima e Nagasaki. Será passado o vídeo 2, documentário intitulado “Hiroshima: o dia seguinte”, onde pessoas (tanto norte-americanos que prepararam ou participaram do ataque, quanto os sobreviventes ao ataque) contam a história do lançamento da primeira bomba nuclear.



Figura 6 - Vídeo 2: Hiroshima: o dia seguinte.

Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3r7meUH>>. Acesso em 20 de jan. 2021.

**Avaliação:** A participação do estudante em todas etapas, e atividades envolvendo simulações computacionais, disponíveis nos apêndices A4, A5, A6 e A7.

### 6.1.1.3 Sequência didática 3 – Fusão nuclear: a energia das estrelas

**Objetivos:** Compreender como ocorre a produção de energia no processo fusão nuclear e o que acontece com o núcleo dos elementos nessa transformação. Compreender o núcleo atômico como potencial fonte de energia. Compreender a relevância da produção de energia no interior das estrelas, por meio da fusão nuclear, para a manutenção da vida humana. Perceber as reações nucleares como um processo presente e influente no cotidiano dos estudantes, como a energia produzida pelo Sol por meio da fusão nuclear.

**Recursos Utilizados:** Material didático e computador.

**Tempo estimado:** Uma aula de 50 min.

**Desenvolvimento:** Inicia-se esta aula com aplicação do primeiro momento pedagógico, a problematização inicial, que ocorre por meio de questionamentos sobre a origem de energia pelo Sol. A seguir tem um exemplo de questionamento:

O Sol é responsável por mais de 99 % do balanço energético da Terra. Cada metro quadrado na Terra recebe a cada segundo, 1400 joules de energia vinda do Sol. O Sol tem uma luminosidade de potência igual a  $3,8 \times 10^{26}$  W e ele tem brilhado, ininterruptamente, há mais de 4,6 bilhões de anos. Partindo dessas informações, como o Sol produz tanta energia? O Sol será eterno ou se extinguirá algum dia?

Após a discussão, será iniciado o segundo momento pedagógico, a organização do conhecimento. Primeiramente será exibido o vídeo 3, intitulado “A Fusão Nuclear Explicada: Energia do Futuro?” que fala sobre a geração de energia por fissão e fusão nuclear.



Figura 7 - Vídeo 3: A Fusão Nuclear Explicada: Energia do Futuro?

Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3rTrR89>>. Acesso em 16 de jan. 2021.

Em seguida, por meio de slides, será apresentado de forma sucinta o processo de nascimento e evolução estrelas, focando mais no período da sequência principal, que o período em que elas fundem hidrogênio em hélio, e é nessa etapa que será explicado o processo de fusão nuclear, e como é possível gerar energia nesse processo. Também será apresentado o reator de fusão nuclear Tokamak e a possibilidade de gerar energia nuclear por fusão aqui na Terra, e quais os benefícios que essa fonte de energia pode trazer (como a possibilidade de grande produção de energia sem gerar lixo radioativo). Por fim, será falado do processo de morte das estrelas.

Ao final da aula os alunos serão novamente questionados com as perguntas da problematização inicial, e serão questionados também da origem dos elementos químicos da tabela periódica.

**Avaliação:** A participação do estudante em todas etapas.

## 6.1.2 Tema 02 – História da Radioatividade

### 6.1.2.1 Sequência didática 4 – A história da radioatividade

**Objetivos:** Fazer com que os alunos compreendam os fatos, estudos e as considerações históricas que levaram à descoberta da radioatividade, e ao seu desenvolvimento, assim como os principais cientistas que contribuíram para esse desenvolvimento. Apresentar alguns constituintes fundamentais da matéria e o modelo atômico nuclear.

**Recursos físicos e materiais:** Tirinha, projetor de imagens e computador.

**Tempo estimado:** uma aula de 50 minutos.

**Desenvolvimento:** Será utilizada a tirinha abaixo para realizar a problematização inicial. Em seguida os alunos serão questionados sobre os constituintes básicos da matéria, sobre do que os corpos são feitos e sobre a origem dos estudos da radioatividade, e se os cientistas tinham noção do perigo da emissão de radiação dos materiais radioativos.

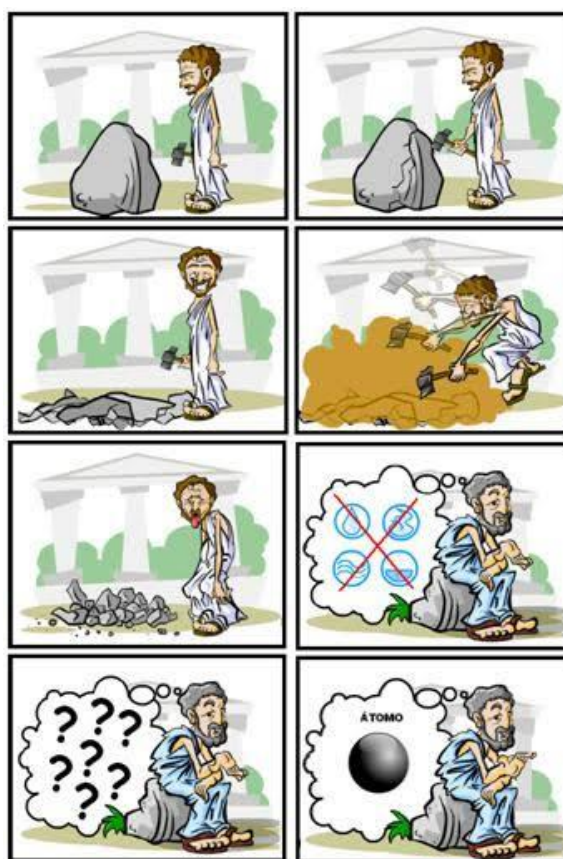


Figura 8 - Constituinte básico da matéria

Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3g1i6iA>>. Acesso em 20 de jan. 2021.

Após uma breve discussão com os estudantes, iniciaremos o segundo momento pedagógico. Para ilustrar os estudos e fatores que influenciaram e culminaram na descoberta da radioatividade, será passado o vídeo 4, intitulado “A descoberta da radioatividade”.

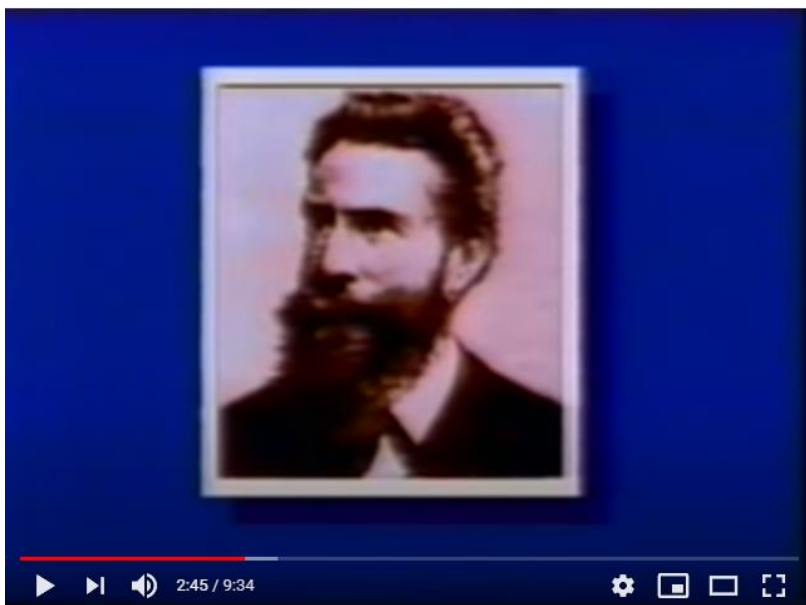


Figura 9 - Vídeo 4: Física avançada – Física Nuclear: A descoberta da radioatividade  
 Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/32GYfCm>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

Em seguida, por meio de *slides*, será passada a evolução dos modelos atômicos, focando principalmente no modelo nuclear.

A aplicação do conhecimento virá por meio de um questionário individual.

**Avaliação:** Participação em todas as etapas, e avaliação por meio de um questionário individual.

### 6.1.3 Tema 03 – Reações de decaimento

#### 6.1.3.1 Sequência didática 5 – Reações de decaimento

##### **Objetivos:**

Compreender o que é um elemento químico radioativo. Entender a radioatividade como um fenômeno de origem nuclear. Conhecer a natureza e as características das partículas alfa e beta e da radiação gama. Compreender como ocorre a transmutação. Estudar a 1ª e a 2ª lei da radioatividade. Desenvolver o conceito de meia-vida de um elemento.

**Recursos físicos e materiais:** Projetor de imagens, computador, lousa e giz.

**Tempo estimado:** Três aulas de 50 minutos.

**Desenvolvimento:** Em um primeiro momento será realizada a problematização inicial será por meio de reportagens sobre a descoberta de fósseis, e sobre o acidente radiológico de Goiânia (mostrando que as áreas que tiveram alto índice de radiação estão hoje ocupadas por ter diminuído a radiação). Em seguida os estudantes serão questionados sobre a relação entre

as duas reportagens, sobre a possibilidade de diminuição da emissão da radioatividade com o tempo e sobre o que torna um elemento radioativo e também sobre a possibilidade de um elemento transformar-se em outro.

O segundo momento pedagógico ocorrerá por meio de slides. Primeiramente, para conceituar a radioatividade, serão feitas explicações sobre a estabilidade atômica, sobre a interação nuclear forte, e sobre a necessidade dos átomos de evoluírem para níveis mais estáveis por meio da desintegração radioativa.

Logo em seguida, serão apresentados os três principais tipos de reações de decaimento radioativo, enfatizando seus elementos característicos e o que acontece com o núcleo do átomo nesses processos de desintegração radioativa.

Em seguida, utilizando-se figuras e imagens de fósseis, de acidentes que envolveram a radioatividade, e também de procedimentos médicos que utilizam radioisótopos para diagnósticos ou em tratamentos de alguma doença, serão apresentados os conceitos de meia-vida de um radionuclídeo, enfatizando o tempo médio de atividade de uma amostra radioativa, e o comportamento do gráfico de decaimento radioativo. E por fim serão apresentadas as séries radioativas do Tório-232, do Urânio-238 e a do Urânio-235.

Serão utilizados durante a aula dois simuladores do Phet Colorado: o “Decaimento Alfa” e o “Decaimento Beta”. Ambos simuladores têm a opção de trabalhar com um único átomo (na aba “Átomo Simples”) ou com vários átomos (aba “Múltiplos Átomos”). Estes simuladores serão usados para demonstrar a transmutação do elemento após o decaimento alfa ou beta (o que ocorre com o núcleo do elemento), e o que ocorre com a sua massa, e o caráter aleatório do decaimento radioativo quando se trabalha com um único átomo, não sendo possível prever quando ele decairá, e o comportamento do decaimento quando se trabalha com vários átomos desenvolvendo o conceito de meia-vida do elemento.

A aplicação do conhecimento será por meio de atividades que envolvem o uso dos dois simuladores computacionais, disponíveis nos apêndices A8, A9 e A10.

**Verificação da aprendizagem (avaliação):** Participação dos estudantes em todas as etapas da aula, e realização das atividades de aplicação do conhecimento.

## 7 APLICAÇÃO DO PRODUTO

Assim como em 2020, o ano letivo de 2021 também foi um ano atípico na escola onde este produto educacional foi aplicado. Em virtude da pandemia de Coronavírus (COVID-19), do início do ano letivo, até 19/09 as aulas foram exclusivamente remotas. Do dia 20/09 até o dia 02/11 as aulas foram no formato híbrido, onde numa semana as aulas eram remotas, e na semana seguinte as aulas eram presenciais, e assim sucessivamente. Estas aulas presenciais tinham limitação na quantidade de alunos que poderiam participar, pois deveria seguir alguns protocolos de segurança, como por exemplo, manter o distanciamento das carteiras dos alunos em 1,5 metros (logo esse distanciamento diminuiu para 0,90 m), e além disso elas eram facultativas, pois caso o aluno ou os responsáveis não se sentissem seguros em voltar às aulas presenciais em meio a pandemia, o aluno tinha a opção em continuar com as aulas apenas remotamente. A partir do dia 03/11, com avanço da vacinação no estado de Minas Gerais e com a diminuição na ocupação dos leitos de UTI reservados aos casos de COVID-19, as aulas passaram a ser apenas no formato presencial, e deixaram de ser facultativas, passando a ser obrigatórias. Mesmo havendo obrigatoriedade das aulas, os alunos que possuíam alguma comorbidade, ou condição de saúde de maior fragilidade para a Covid-19, comprovada por laudo ou atestado médico, tinham a opção de continuar com as aulas remotas.

O projeto foi aplicado em uma turma do segundo ano do ensino médio de uma escola estadual em Juruiaia-MG. A turma era formada por 34 estudantes, porém nas aulas remotas, apenas 3 estudantes assistiam às aulas e participavam em tempo real pelo Google Meet; outros 18 estudantes assistiam as gravações das aulas e realizavam as tarefas, pelo Google Classroom; outros 10 estudantes realizavam as atividades de forma impressa, utilizando as apostilas PETs (Planos de Estudos Tutorados); e 2 estudantes não realizaram qualquer atividade durante o ano. As aulas foram realizadas nos seguintes horários: toda segunda-feira, das 07:50 até às 08:40 e toda terça-feira, das 10:35 até às 11:25.

Durante o ensino híbrido, apenas 6 estudantes frequentaram as aulas que eram presenciais. As aulas presenciais que ocorreram após o ensino híbrido, tiveram 19 estudantes frequentes.

No dia 18 de outubro de 2021 foi realizado o convite aos alunos para participarem deste projeto educacional. Nesta data, as aulas estavam no regime híbrido, e as aulas desta semana foram presenciais. O convite foi feito de forma presencial para os alunos que compareceram à aula (6 alunos). Para convidar os demais alunos, foi realizada uma reunião pelo Google Meet,

que contou com a presença de 15 alunos. Além do convite, foi realizada a explicação sobre do que se tratava o projeto, sobre os objetivos, sobre como seriam as aulas e sobre como seria a participação deles durante as aulas. Os alunos foram avisados que as aulas seriam gravadas para fins de coletas de dados, porém lhes foi assegurado a confidencialidade, a privacidade, o sigilo pelos dados fornecidos e informações coletadas, assumindo também o compromisso de não publicar o nome dos participantes (nem mesmo as iniciais) ou qualquer outra forma que permita a identificação individual. Foi conversado também, que a decisão em participar do projeto deveria ser espontânea, e que o aluno teria total direito em recusar participar sem sofrer qualquer tipo de prejuízo em sua relação com o professor, ou em relação a notas. Todos os alunos que estavam presentes na aula presencial e na reunião concordaram em participar.

Ao longo de 10 horas-aulas<sup>4</sup> as sequências didáticas foram discutidas e trabalhadas com os alunos.

## 7.1 QUESTIONÁRIO PRÉVIO

O dia 19 de outubro de 2021 marcou o início da aplicação das sequências didáticas, com a aplicação do questionário prévio (Apêndice B). Esse questionário tem 19 questões formuladas na forma de uma escala de opinião do tipo Likert, e foi elaborado com intuito de verificar alguns conhecimentos prévios, concepções que os alunos possuíam sobre determinadas situações (controversas ou não) ou questões, que tinham relação com a radioatividade, fazendo com que estes assumissem um posicionamento perante cada afirmação. Esse mesmo questionário foi aplicado novamente ao final da última aula para efeito de comparação e análise de resultados.

Para os alunos que compareceram à aula (4 alunos) o questionário prévio foi aplicado de forma impressa. Para os demais alunos, o questionário prévio foi disponibilizado no Google Classroom e no grupo do Whatsapp da disciplina, na forma de um formulário do Google Forms, e apenas 12 alunos o responderam. Foi solicitado que os alunos não se identificassem, e que eles preenchessem de acordo com as concepções e conhecimentos que eles possuíam, sem realizar qualquer tipo de pesquisa. O formulário ficou disponível para preenchimento por 24 horas.

---

<sup>4</sup> A hora-aula na escola onde o produto foi aplicado tinha duração de 50 minutos.



## 7.2 TEMA 01: ENERGIA NUCLEAR: FISSÃO E FUSÃO NUCLEAR

O tema 01, “Energia nuclear: fissão e fusão nuclear”, foi subdividido em três sequências didáticas: “O núcleo atômico”, “Fissão nuclear”, e “Fusão nuclear: a energia das estrelas”.

O núcleo atômico foi trabalhado de forma presencial no dia 19 de outubro de 2021. A aula contou com a presença de 4 alunos. Primeiramente foi realizada a problematização inicial, onde os alunos foram questionados sobre que era o átomo, sobre o que tem dentro dele, se existem partículas no núcleo e sobre o que difere um material do outro. Um dos alunos respondeu que no átomo tinha citoplasma e núcleo, e o professor chamou a atenção que aquilo que o aluno estava falando era célula e não o átomo. Um dos alunos respondeu que no núcleo tinha elétrons e núcleo. Os alunos não souberam responder o que era o átomo, o que tinha no núcleo e o que difere um material de outro.

Após uma breve discussão foi iniciado o segundo momento pedagógico. Por meio *slides* foram passadas algumas características do núcleo atômico, dos núcleons, número atômico, número de massa, sobre a representação dos nuclídeos e sobre o que eram os isótopos. Em seguida foi feita uma explicação, por meio de *slides*, sobre os dois principais tipos de forças fundamentais da natureza que agem nas partículas nucleares: a interação eletromagnética e a interação nuclear forte. Vale ressaltar que os alunos da escola em que o projeto foi aplicado costumam estudar sobre eletromagnetismo apenas no terceiro ano do ensino médio, portanto ainda não tinham estudado sobre a força elétrica. Por fim foi explicado o conceito de estabilidade nuclear.

A aplicação do conhecimento foi realizada por meio atividades utilizando simulações computacionais, onde foi utilizada a simulação do *Phet Colorado* “Monte um átomo”. Os roteiros das atividades com simulações estão disponíveis nos apêndices A1, A2 e A3. Na atividade, o professor fazia a simulação e pedia para que os alunos observassem e registrassem o que acontecia em cada etapa da simulação. A simulação poderia ter sido realizada pelos alunos, porém o laboratório de informática da escola estava ocupado por outros materiais que não sendo possível aos alunos utilizarem os computadores.

Foi realizada uma adaptação nesta aula para que os alunos que não vieram à aula presencial pudessem participar. Foi utilizado o *Google Classroom* como plataforma para que estes alunos pudessem participar da aula. A problematização inicial foi feita sob a forma de um fórum publicado diretamente no mural da turma no *Google Classroom*. Após o aluno participar do fórum, o professor liberava para o aluno um vídeo curto gravado pelo professor, contendo

explicações para organização do conhecimento, que foi postado como “material” no *Google Classroom*. Por fim, para aplicação do conhecimento, foi postada a atividade com simuladores para os alunos fazerem. Essa atividade com simuladores consistia em três simulações distintas, e para que os alunos pudessem fazer a atividade, o professor gravou pequenos vídeos detalhando cada etapa de cada uma das simulações. O professor também deixou na atividade o link da simulação, para que os alunos que quisessem reproduzir a simulação, ou fazer suas próprias simulações pudessem dela utilizar.

No dia 25 de outubro de 2021 foi trabalhada, de forma remota, a fissão nuclear, contando com a participação de 3 alunos pelo *Google Meet*. A aula foi iniciada com a problematização inicial, questionando os alunos sobre a origem da energia produzida numa usina nuclear. Um dos alunos respondeu que era do urânio. O professor comentou a resposta do aluno, dizendo que além do urânio-235, usinas term nucleares também utilizam o plutônio-238 como combustível nuclear, indagando novamente os alunos sobre como é possível extrair energia a partir destes elementos. Outro aluno disse acreditar que pelo nome, a energia nuclear deveria vir do núcleo atômico, mas não tinha ideia de como seria possível gerar energia com isso.

Em seguida, por meio de *slides*, foram realizadas as explicações sobre fissão nuclear, onde foram abordados a relação entre a quantidade de prótons e nêutrons para a estabilidade nuclear; a energia de ligação do núcleo; as reações nucleares; a fissão nuclear; a energia da reação; equivalência massa-energia; a equivalência energética do urânio (em comparação com o petróleo e com o carvão); a diferença entre material físsil e fissionável e a necessidade em enriquecer o urânio para manter uma reação em cadeia autossustentada; reação em cadeia e massa crítica; reator nuclear e a produção de energia em uma termoelétrica; e sobre reação em cadeia não controlada (bomba atômica). O vídeo do sobre o funcionamento de uma usina nuclear foi passado em aula, e o vídeo da bomba atômica foi solicitado para que os alunos assistissem em casa. Foi realizada também uma discussão sobre os impactos ambientais na produção da energia nuclear e hídrica.

Para aplicação do conhecimento foi postada no *Google Classroom* uma atividade que envolvia a utilização da simulação do *Phet Colorado* “Fissão nuclear” (Apêndice A4, A5, A6 e A7). Essa atividade com simuladores consistia em quatro simulações distintas, e para que os alunos pudessem fazer a atividade, o professor gravou pequenos vídeos detalhando cada etapa de cada uma das simulações. O professor também deixou na atividade o link da simulação, para que os alunos que quisessem reproduzir a simulação, ou fazer suas próprias simulações, pudessem utilizá-la.

Foi postado também no *Google Classroom*, um vídeo com os conteúdos e explicações que haviam sido feitas na aula deste dia, para que os alunos que não participaram da aula em tempo real pudessem assistir em momento oportuno, de modo a conseguirem realizar as atividades propostas.

No dia 28 de outubro de 2021 foi trabalhada, de forma remota, a fusão nuclear, tendo a participação de 3 alunos pelo *Google Meet*. A aula foi iniciada com a problematização inicial, onde os alunos foram indagados sobre a origem da energia produzida pelo Sol (questionando se o Sol era uma bola de fogo), e sobre a origem dos elementos químicos da tabela periódica, porém os alunos não souberam responder. Os alunos também foram questionados sobre o que era uma estrela, e o que difere estes corpos celestes dos planetas. Os alunos presentes disseram acreditar que o Sol era uma bola de fogo, e seria daí a origem de sua energia, e sobre a origem dos elementos químicos eles não conseguiram nem opinar.

Em seguida por meio de slides foi iniciado o segundo momento pedagógico. Foi explicado o processo de nascimento e evolução estelar, focando mais na fase da “sequência principal”, e neste momento foi explicado o processo de fusão nuclear e como a energia produzida neste tipo de reação nuclear.

Ao final da aula o professor utilizou as mesmas perguntas feitas no início da aula, e dessa vez todos alunos conseguiram responder corretamente.

Foi disponibilizada para todos alunos a gravação dessa aula no *Google Classroom*.

### 7.3 TEMA 02 – HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE

No dia 08 de novembro de 2021 foi abordado em sala de aula um pouco da história da radioatividade. Neste dia compareceram à aula 16 alunos. Essa sequência didática foi aplicada em duas aulas

Primeiramente foi realizada a problematização inicial utilizando uma tirinha (Figura 8) representando o filósofo Demócrito de Abdera e um pouco de seu pensamento sobre a estrutura da matéria. Após pedir para que os alunos observassem com atenção a tirinha, o professor os perguntou aos alunos sobre do que os corpos são feitos, sobre a origem dos estudos acerca da radioatividade, se na opinião deles os cientistas tinham noção do perigo do manuseio de materiais radioativos. Foram questionados também se para tirar uma radiografia a pessoa está exposta à radioatividade. Os alunos disseram que os corpos são feitos de átomos, e que acreditavam que quem descobriu a radioatividade não devia saber que era algo perigoso. Afirmaram também que o raio X é radioativo.

Após uma breve discussão, iniciou-se o segundo momento pedagógico, por meio de *slides*. Foi passado um vídeo sobre a história da radioatividade, e em seguida foi apresentado aos alunos um pouco sobre a descoberta dos raios X por Wilhem Conrad Röntgen (1845-1923), ao realizar experimentos com tubos de raios catódicos. Após breve explicação sobre a descoberta dos raios X, foi passado aos alunos o impacto que essa descoberta gerou na comunidade científica, e na medicina. Em seguida foi apresentado a conjectura de Henri Poincaré que relacionava os raios X a luminescência do vidro do tubo de raios catódicos. Neste momento foi feito um elo entre a descoberta dos raios X, a conjectura de Poincaré, com a descoberta da radioatividade: em 1896, Henri Becquerel, ao tentar testar a hipótese de Poincaré, realiza uma série de experimentos com substâncias, que quando expostas aos raios solares ficavam fosforescentes. A ideia era colocar uma chapa fotográfica em um envelope opaco a luz, e sobre este envelope colocar a substância e deixá-la exposta ao Sol, até que esta ficasse fosforescente, e com isso a substância emitiria raios X que atravessariam o papel opaco e impressionaria a chapa fotográfica. Ele fez esse experimento com uma série de materiais, porém apenas obteve sucesso quando utilizou sais de urânio (que fica fosforescente quando exposto à luz). Foi passado para os alunos que embora a conjectura de Poincaré estivesse incorreta, levou Becquerel ao experimento que possibilitou a descoberta da radioatividade. Foi apresentado também algumas características que diferenciavam os raios becqueréis dos raios X, como o fato de serem defletidos na presença de um campo magnético, e o fato de não poderem ser ligados e desligados. Também foi passado para os alunos que Becquerel fixou na ideia de que o fenômeno vinha da fosforescência, não percebendo que aquilo era um fenômeno novo e que apenas por alguns materiais apresentavam. Foi Marie Curie (juntamente com seu marido) que percebeu se tratar de um fenômeno novo, que apenas alguns materiais apresentavam. Marie Curie deu nome a esse novo fenômeno de radioatividade e descobriu e nomeou dois novos elementos químicos radioativos: o rádio e o polônio.

Após a história da radioatividade foram passadas aos alunos algumas diferenças entre os raios X e radioatividade, sobre a diferença entre radiações ionizantes e não ionizantes. Também foi abordado sobre a evolução dos modelos atômicos (iniciando pelo o modelo do pudim de passas de J.J. Thomsom, seguido pelo modelo planetário de Ernest Rutherford, e por fim o modelo atômico de Niels Bohr).

Para aplicação do conhecimento os alunos responderam ao final da aula um questionário contendo 5 perguntas abertas sobre o conteúdo da aula. No final da aula do dia 09 de novembro de 2021 o professor debateu com os alunos as respostas dos alunos no questionário da aula anterior.

#### 7.4 TEMA 03 – REAÇÕES DE DECAIMENTO

Esse tema começou a ser trabalhado no dia 16 de novembro de 2021. Tinham 19 alunos presentes na aula. Na problematização inicial foram apresentadas duas reportagens, uma da BBC (British Broadcasting Corporation) com título “Cientista descobre fóssil de dinossauro de 166 milhões de anos ‘por acaso’ em praia”, e a outra do G1 (portal da Globo.com.br), com título “Após 30 anos, a maioria das áreas que tiveram alto índice de radiação do césio-137 está ocupada”, e os alunos foram questionados sobre como é possível estimar a idade de um fóssil; se existe a possibilidade da radioatividade que um elemento emite diminua com o tempo; sobre qual a relação entre as duas reportagens; e se é possível um elemento químico se transformar em outro.

Após a problematização inicial, a organização do conhecimento foi realizada por meio de *slides*, onde foi apresentado o conceito de radioatividade, reforçado o conceito de estabilidade nuclear e os três principais tipos de decaimento radioativo, a transmutação nuclear, tempo de meia-vida, datação radioativa, e também sobre a diferença entre exposição e contaminação radioativa.

Como aplicação do conhecimento foi realizada uma atividade utilizando as simulações do *Phet Colorado* “decaimento alfa” e “decaimento beta”. A aplicação do conhecimento foi realizada nas três aulas seguintes.



Figura 10 - Aula presencial: Decaimentos radioativos.  
Fonte: O autor, 2021.

## 8 ANÁLISE DE RESULTADOS

Antes de iniciar a aplicação das sequências didáticas, foi aplicado aos alunos um questionário diagnóstico (Apêndice B) que tinha por objetivo verificar as concepções e conhecimentos que os estudantes traziam em suas estruturas cognitivas. Este mesmo questionário foi aplicado ao final da aplicação das sequências didáticas, com intuito de verificar se estas promoveram uma esperada aprendizagem acerca dos conceitos físicos estudados, por parte dos participantes.

Em outros momentos, como nas discussões das problematizações iniciais e em algumas discussões durante a organização do conhecimento, também foi possível verificar algumas concepções e conhecimentos dos alunos, possibilitando verificar se os objetivos propostos em cada tema foram alcançados e se houve aprendizagem dos alunos quando foi analisada a participação e respostas destes durante a aplicação do conhecimento.

### 8.1 ANÁLISE DAS AULAS DO TEMA 1 - ENERGIA NUCLEAR: FISSÃO E FUSÃO NUCLEAR

#### 8.1.1 Estudo do núcleo utilizando o simulador monte um átomo

##### 8.1.1.1 Simulação 01 – Construir Átomo

Essa atividade está disponível no Apêndice A1, e foi realizada por 14 alunos, sendo que 4 fizeram a atividade presencialmente em sala de aula e 9 alunos fizeram a atividade remotamente pelo *Google Classroom*. Essa atividade tinha por intuito estudar e demonstrar algumas características do núcleo atômico, como a quantidade distinta de prótons no núcleo para cada elemento químico e a relação entre o total de prótons e nêutrons existentes no núcleo com o número de massa do átomo.

Em cada etapa da simulação o aluno deveria observar e registrar se ocorreu alguma mudança nas abas: “Elemento”, “Carga Resultante” e “Número de Massa”.

Com a questão 01 esperava-se que os alunos percebessem que a cada próton que era adicionado, ou removido do núcleo alterava-se o elemento químico. Com a questão 02 esperava-se que os alunos percebessem que a cada nêutron que era adicionado, ou removido do núcleo, o elemento químico permanecia o mesmo. Com a questão 03 esperava-se que os

alunos percebessem que a cada próton que era adicionado ao núcleo fazia com que o número de massa do átomo aumentasse em uma unidade. Com a questão 04 esperava-se que os alunos percebessem que a cada nêutron que era adicionado ao núcleo fazia com que o número de massa do átomo aumentasse em uma unidade. Com a questão 05 esperava-se que os alunos percebessem que se no núcleo dos átomos possuísem quantidades diferentes de prótons, estes seriam elementos químicos distintos, não sendo possível ter um mesmo elemento químico com quantidades diferentes de prótons no núcleo. Com a questão 06 esperava-se que os alunos respondessem que a quantidade de prótons no núcleo era diferente para cada elemento químico, ou que o elemento químico era definido por sua quantidade de prótons no núcleo.

A seguir temos os resultados dessa atividade:

Tabela 1 - Resultados obtidos para as questões – Simulação monte o um átomo

<b>Questões</b>	<b>% de respostas Esperadas</b>	<b>% de respostas não esperadas</b>
<i>1 - O que acontece com elemento químico quando aumentamos a quantidade de prótons no núcleo?</i>	93%	7%
<i>2 - O que acontecia com elemento químico (alterava ou não) ao adicionar nêutrons ao núcleo (etapas 3 e 5)?</i>	78,5%	21,5%
<i>3 - O que acontecia com o número de massa quando adicionávamos 1 próton ao núcleo (aumentava ou diminuía, e em quantas unidades)?</i>	85,7%	14,3%
<i>4 - O que acontecia com o número de massa quando adicionávamos 1 nêutron ao núcleo (aumentava ou diminuía, e em quantas unidades)?</i>	93%	7%
<i>5 - É possível ter um mesmo elemento com quantidades diferentes de prótons no núcleo?</i>	62,3%	36,7%
<i>6 - Qual a relação entre o elemento químico e a quantidade de prótons no núcleo?</i>	93%	7%

Fonte: Autor, 2021

### 8.2.1.2 Simulação 02 – Isótopos

Assim como na atividade anterior, essa atividade foi realizada por 14 alunos, sendo que 4 fizeram a atividade presencialmente em sala de aula e 9 alunos fizeram a atividade remotamente pelo *Google Classroom*. Essa atividade está disponível no Apêndice A2, e tinha por intuito estudar, demonstrar e definir o conceito de elementos isótopos.

Foi montado o núcleo de três isótopos do hidrogênio (H-1, H-2 e H-3) e de três isótopos do carbono (C-12, C-13 e C-14). Em cada etapa da simulação o aluno deveria observar e registrar se ocorreu alguma mudança nas abas “Elemento” e “Número de Massa”, quando alterávamos a quantidade de nêutrons para montar os isótopos.

Com a questão 07 esperava-se que os alunos compreendessem que isótopos correspondem a átomos de um mesmo elemento químico que possuem números de massas diferentes por terem quantidades de nêutrons distintas em seus núcleos. Com a questão 08, ao apresentar três isótopos do elemento hidrogênio, esperava-se que os alunos respondessem que estes elementos possuem números de massas diferentes, ou total de nêutrons diferentes em seu núcleo. Com a questão 09, ao apresentar três isótopos do elemento carbono, esperava-se que os alunos respondessem que estes elementos possuem números de massas diferentes, ou total de nêutrons diferentes em seu núcleo.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 2 - Resultados obtidos para as questões – Simulação monte o um átomo: Isótopos

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
7 - De acordo com essa simulação, explique o que são isótopos?	78,6%	21,4%
8- Qual a diferença percebida entre o Hidrogênio-1, Hidrogênio-2 e Hidrogênio-3?	93%	7%
9 - Qual a diferença percebida entre o Carbono-12, Carbono-13 e Carbono-14?	100%	0

Fonte: Autor, 2021

### 8.2.1.3 Simulação 03 – Núcleo estável/instável

Essa atividade está disponível no Apêndice A3, e tinha por intuito verificar dentre os elementos isótopos estudados na simulação anterior quais eram estáveis e quais eram instáveis,



demonstrar que para um mesmo elemento pode ter isótopos estáveis e isótopos instáveis, e elucidar a importância do nêutron para a estabilidade do núcleo.

Além dos isótopos já vistos anteriormente, foi montado o núcleo de outros isótopos e verificado sua estabilidade.

A seguir temos os registros dessa atividade:

**Questão 10** - Julgue as afirmativas marcando V se a afirmativa é verdadeira ou F se for falsa.

Tabela 3 - Resultados obtidos para a Questão 10 – Simulação monte o um átomo: Estáveis/instáveis (As respostas corretas estão em destaque)

Questão	V	F	Afirmção	% de acertos
A	12	2	Para um mesmo elemento pode haver isótopos estáveis e instáveis.	85,7%
B	13	1	Um núcleo instável é um núcleo radioativo.	92,9%
C	14	0	A quantidade de nêutrons no núcleo influencia a sua estabilidade.	100,0%
D	6	8	A quantidade de isótopos instáveis é maior que a de estáveis.	42,9%

Fonte: Autor, 2021

Tendo por base essa atividade realizada após a simulação, nitidamente percebe-se que os alunos compreenderam bem o papel dos nêutrons para estabilidade nuclear. Percebe-se também que a grande maioria dos alunos conseguiram associar a instabilidade nuclear à radioatividade, e perceberam também que para um mesmo elemento pode haver isótopos estáveis e instáveis.

Porém, a maior parte dos alunos acreditam que a quantidade de isótopos estáveis é maior que de isótopos radioativos, o que pode indicar uma concepção espontânea dos alunos não verificada antes. Acredito que se essa simulação fosse realizada com uma quantidade maior de isótopos de um único elemento, talvez evidenciasse que existem mais núcleos radioativos do que estáveis.

## 8.1.2 Estudo da fissão nuclear utilizando o simulador fissão nuclear

### 8.2.2.1 Simulação 04 – Fissão de um núcleo

Essa atividade está disponível no Apêndice A4, e foi realizada de forma remota por 7 alunos, por meio do *Google Classroom*. Essa atividade tinha por intuito demonstrar o processo de fissão nuclear como a quebra de um núcleo altamente instável, e que os produtos da fissão eram de outros elementos químicos; diferenciar os materiais físeis dos fissionáveis; e por fim mostrar que esse processo envolve liberação de energia.

Com a questão 01 esperava-se que os alunos percebessem que o comportamento dos isótopos U-235 e U-238 foi diferente ao capturar um nêutron, pois o U-235 ficou altamente instável e sofreu fissão, já o U-238 não sofreu fissão. Com a questão 02 esperava-se que os alunos percebessem que o U-236 havia ficado mais instável e que a energia total do sistema aumentou após a captura do nêutron. Com questão 03 esperava-se que os alunos percebessem que o círculo, que aparece na simulação quando o núcleo sofre fissão, representa a energia liberada na fissão nuclear. Na questão 04 esperava-se que os alunos respondessem que os produtos da fissão nuclear são os núcleos filhos, nêutrons livres e a energia liberada. Com a questão 05 esperava-se que os alunos respondessem que os núcleos filhos não são núcleos de urânio.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 4 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão de um núcleo

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
1 - O núcleo de urânio-235 teve o mesmo comportamento que o núcleo de urânio-238 ao capturar um nêutron? Caso não, o que teve de diferente?	85,7%	14,3%
2 - Quando o núcleo de urânio-235 captura o nêutron, aumenta a quantidade de nêutrons no núcleo, e ele passa a ser o urânio-236 (92 prótons e 144 nêutrons). Logo após essa captura, o núcleo ganha mais estabilidade ou fica mais instável (agitado)? Observando o gráfico, o que ocorreu com a energia total do sistema após essa captura do nêutron?	100%	0%
3 - No momento exato momento em que ocorre a fissão (quebra do núcleo), é possível perceber um círculo	85,7%	14,3%

*(tipo uma luz) que parte do núcleo e se espalha pelo espaço. O que esse círculo representa?*

4 - *Quais são os produtos da fissão nuclear?* 57,1% 42,9%

5 - *Os núcleos filhos são núcleos de urânio, ou de outro elemento? Explique.* 71,4% 28,6%

Fonte: Autor, 2021

### 8.2.2.2 Simulação 05 – Reação em cadeia

Essa atividade tinha por intuito demonstrar a reação em cadeia, compreender a importância dos nêutrons livres e da concentração de elementos físséis para manter a reação em cadeia autossustentada.

Com a questão 06 esperava-se que os alunos respondessem que os nêutrons livres são importantes por encontrar outros núcleos físséis, que também vão se partir emitindo novos nêutrons livres, e assim sucessivamente, podendo vir começar uma reação em cadeia autossustentada, e que sem eles não tem como ter a reação em cadeia. Com a questão 07 esperava-se que os alunos percebessem que conforme a proporção de U-238 aumentava, menos núcleos sofriam fissão e era necessário cada vez mais disparos para que todos núcleos de U-235 sofressem fissão. Para responder à questão 08, foi realizada uma simulação com 25 núcleos de U-235, onde 84% dos núcleos sofreram fissão ao realizar apenas um disparo, portanto ocorreu a reação em cadeia autossustentada, e com apenas 10 núcleos apenas 10% dos núcleos sofreram fissão, não ocorrendo a reação em cadeia autossustentada.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 5 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão Nuclear: Reação em cadeia

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
6 - <i>Por que os nêutrons livres emitidos pelo U-235 na fissão nuclear são importantes para criar uma reação em cadeia? Sem eles teria como ter uma reação em cadeia autossustentada?</i>	85,7%	14,3%
7 - <i>O que ocorre com a reação quando a proporção de núcleos U-238 aumenta?</i>	85,7%	14,3%

<b>8 - Ao realizar a simulação com apenas 25 e 10 núcleos de U-235, ocorreu a reação em cadeia autossustentada? Por qual motivo ocorreu ou não?</b>	100%	0%
<b>9 - Explique com suas palavras como ocorre a reação em cadeia.</b>	43%	57%

---

Fonte: Autor, 2021

### 8.2.2.3 Simulação 06 – Reator nuclear

Essa atividade está disponível no Apêndice A6, tinha por intuito demonstrar o funcionamento de um reator nuclear, como a energia é gerada numa usina termonuclear, a função da haste de controle e a necessidade de enriquecimento de urânio para ser possível a reação em cadeia autossustentada.

Na questão 10, a intenção era que os alunos percebessem que conforme os núcleos de U-235 iam sendo fissionados, na reação em cadeia no reator nuclear, o termômetro da simulação mostrava a temperatura aumentando bastante, demonstrando que na reação de fissão nuclear em cadeia ocorre liberação de grande quantidade de calor. Na questão 11, esperava-se que os alunos percebessem que o calor liberado na reação em cadeia é usado para aquecer a água numa caldeira, e esta água da caldeira é convertida em vapor de alta pressão, com energia cinética suficiente para movimentar a turbina, que por sua vez aciona o gerador elétrico. Na questão 12 esperava-se que os alunos percebessem que as hastes de controle absorvem os nêutrons livres, o que possibilita cessar a reação em cadeia quando necessário. Na questão 13, conforme foi visto durante as simulações, esperava-se que os alunos percebessem que com essa proporção de 3% de U-235 para 97% de U-238 não gera uma reação em cadeia autossustentada, sendo, portanto, necessário enriquecer o U-238.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 6 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão Nuclear: Reator Nuclear

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
<i>10 - O que ocorre com a temperatura no interior do reator nuclear conforme os núcleos de U-235 vão sendo fissionados?</i>	100%	0%

<i>11 - Como é possível gerar energia elétrica numa usina de fissão nuclear?</i>	0%	100%
<i>12 - Qual a função das hastes de controle num reator de fissão nuclear?</i>	85,7%	14,3%
<i>13 - Existem usinas nucleares que usam uma proporção de 3% de U-235 e 97% de U-238. Com essa proporção, é possível gerar uma reação em cadeia autossustentada?</i>	71,4%	28,6%

---

Fonte: Autor, 2021

Todas as respostas da questão 11 foram consideradas como não esperadas, pois nitidamente todos os alunos copiaram a resposta desse exercício da internet, o que foge do nosso objetivo. A produção de energia termonuclear foi trabalhada em aula e durante a simulação. Na primeira aula presencial após essa atividade, eu voltei nesse exercício, e utilizando a simulação e os slides, expliquei novamente que a reação de fissão nuclear em cadeia envolve liberação de grande quantidade de energia na forma de calor, e todos os processos seguintes para geração de energia numa usina termonuclear.

#### **8.2.2.4 Simulação 07 – Bomba atômica**

Essa atividade estava disponível no Apêndice A7, e tinha por intuito demonstrar uma reação em cadeia não controlada, o conceito de massa crítica e a relação entre o enriquecimento de urânio e a produção de armas nucleares.

O urânio é um metal relativamente abundante na natureza, porém cerca de 99,3% é de U-238 e apenas cerca de 0,7% de U-235. Para a construção de armas nucleares é necessária uma concentração de pelo menos de cerca de 90% de U-235 e com uma massa crítica de 52 kg. Na questão 14 esperava-se que os alunos percebessem que é necessário enriquecimento de urânio, aumentando sua concentração, até atingir a massa crítica necessária para construir uma arma nuclear, e perceber também que com a proporção entre U-235 e U-238 existentes na natureza não cria uma reação em cadeia não controlada, e muito menos uma reação em cadeia não controlada. Na questão 15 esperava-se que os alunos percebessem que se um país passa a enriquecer urânio em concentrações acima dos acordos internacionais, pode ser que ele atinja a concentração necessária para construir uma bomba nuclear. Na questão 16 esperava-se que os alunos percebessem que o que foi feito de diferente para a criação da bomba atômica foi

aumentar um pouco o tamanho da câmara de contenção para poder aumentar a quantidade de U-235 até atingir a massa crítica.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 7 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Fissão Nuclear: Bomba Nuclear

<b>Questões</b>	<b>% de respostas Esperadas</b>	<b>% de respostas não esperadas</b>
<i>14 - Qual a necessidade de enriquecimento de urânio para a produção de energia e para construção de armas nucleares?</i>	100%	0%
<i>15 - Por que quando um país passa a enriquecer urânio em concentrações acima dos acordos internacionais causa preocupação para a comunidade internacional?</i>	85,7%	14,3%
<i>16 - O que foi feito de diferente na segunda parte da simulação para a gente criar uma bomba atômica?</i>	85,7%	14,3%

Fonte: Autor, 2021

## 8.2 ANÁLISE DAS AULAS DO TEMA 2 – HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE

Essa atividade está disponível no Apêndice C, e foi realizada presencialmente por 16 alunos. Essa atividade foi realizada como forma de aplicar os conhecimentos desenvolvido na aula sobre o tema 2, e tinha por objetivo avaliar a compreensão dos alunos acerca de fatos, estudos e as considerações históricas que levaram à descoberta da radioatividade, além de algumas características que diferenciam a radioatividade dos raios X, e da natureza da radiação emitida por um núcleo radioativos.

Na questão 01, esperava-se que os alunos percebessem que os raios becqueréis, ou raios urânicos, é como era chamada a radiação emitida pelo urânio, e que algumas características diferenciam os raios becqueréis dos raios X, como o fato dos raios X poderem ser ligados e desligados, e os raios becqueréis não, e ao contrário dos raios X, os raios becqueréis podem ser defletidos na presença de um campo elétrico ou magnético (o que sugere que estes raios estejam carregados eletricamente). Na questão 02, esperava-se que os alunos respondessem que os raios becqueréis podem ser defletidos na presença de um campo elétrico ou magnético por serem carregados eletricamente. Na questão 03, esperava-se que os alunos respondessem que a

principal inovação trazida pelo modelo atômico de Rutherford foi a proposição da existência de um núcleo pequeno e denso. Na questão 04, esperava-se que os alunos respondessem que a radioatividade é a propriedade que os núcleos radioativos têm de emitir de forma espontânea radiação sob a forma de ondas eletromagnéticas ou partículas. Na questão 05, esperava-se que os alunos respondessem que a radiação emitida pelo núcleo tem tanto a natureza ondulatória (raios gama) como natureza corpuscular (partículas alfa e beta).

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 8 - Resultados obtidos para as questões – História da Radioatividade

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
<i>1- O que diferenciava os raios-X dos raios becqueréis?</i>	62,3%	37,7%
<i>2- Qual o motivo de parte dos raios emitidos pelos sais de urânio serem defletidos na presença de um campo elétrico?</i>	81,3%	18,7%
<i>3- Qual a principal inovação trazida pelo modelo atômico de Rutherford?</i>	68,8%	31,2%
<i>4- Afinal, o que é a radioatividade?</i>	87,5%	12,5%
<i>5- A radiação emitida pelo núcleo tem natureza ondulatória ou corpuscular? Explique.</i>	0%	100%

Fonte: Autor, 2021

Na questão 05 consideramos que nenhuma das respostas dadas foram satisfatórias. Até este momento os alunos ainda tinham dificuldade em compreender a natureza da radiação emitida pelo núcleo. Por este motivo houve uma ênfase maior, nas aulas que abordavam reações de decaimento, sobre a natureza das partículas alfa e beta, e da radiação gama.

### 8.3 ANÁLISE DAS AULAS DO TEMA 3 – DECAIMENTOS RADIOATIVOS

#### 8.3.1 Simulação 08 – Decaimento alfa: único átomo

Essa atividade está disponível no Apêndice A8, e foi realizada presencialmente por 15 alunos. Essa atividade tinha por intuito estudar e demonstrar algumas características do decaimento alfa, como o que é uma partícula alfa, a transmutação nuclear ocorrida nesse tipo

de decaimento e o caráter aleatório do decaimento alfa, quando consideramos apenas um núcleo.

Em determinado momento durante a simulação, com auxílio de uma tabela periódica, foi solicitado que os alunos registrassem a quantidade de prótons e nêutrons, e o número de massa do Po-211, do Pb-207 e da partícula alfa (foi reforçado que o número de massa do átomo é o total de núcleons que ele possui no núcleo).

Na questão 01, esperava-se que os alunos percebessem que quando o polônio-211 decai para o chumbo-207 o número de massa do átomo diminui 4 unidades. Na questão 02, esperava-se que os alunos respondessem que após o decaimento alfa, o total de prótons existentes no núcleo diminui em duas unidades. Na questão 03, esperava-se que os alunos respondessem que a partícula alfa é um núcleo de hélio-4. Na questão 05, esperava-se que os alunos retirassem da simulação a meia vida do Po-207 como sendo aproximadamente 0,5 segundos. Na questão 06, esperava-se que os alunos percebessem que o núcleo ao emitir uma partícula alfa, sua quantidade de prótons se alterava, o que fazia com que ele se transmutasse num elemento que tinha o número atômico duas unidades menor que o núcleo pai. Na questão 07, esperava-se que os alunos percebessem que não é possível perceber quando a partícula alfa de um único átomo será emitida.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 9 - Resultados obtidos para as questões – Decaimento Alfa: Único átomo

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
<i>1- Quando o Po-211 decai para Pb-207 o que acontece com a massa do núcleo?</i>	93,3%	6,7%
<i>2- Utilizando uma tabela periódica, confira em quantas unidades o número atômico (número de prótons) aumentou ou diminuiu nesse decaimento.</i>	93,3%	6,7%
<i>3- Utilizando as respostas das questões 1 e 2, podemos considerar que a partícula alfa seja o núcleo de um elemento químico. Qual elemento é esse?</i>	100%	0%
<i>4- Tente montar uma equação para o decaimento do polônio.</i>	86,7%	13,3%



5- Aproximadamente, quanto tempo é a meia vida de um núcleo de Po-211?	100%	0%
6- Por que quando um núcleo sofre decaimento alfa ele se transforma em outro elemento?	66,7%	33,3%
7- É possível prever quando a partícula alfa de um único átomo será emitida?	100%	0%

---

Fonte: Autor, 2021

Para que os alunos respondessem à questão 04, foi projetado novamente à lousa, o slide (Figura 11) que falava da primeira lei da radioatividade, porém eles teriam que fazer utilizando o núclideo  $^{211}\text{Po}$  como pai e o  $^{207}\text{Pb}$  como núcleo filho.

**DECAIMENTO ALFA ( $\alpha$ )**

1ª lei da radioatividade – Considerando X como o núcleo pai e Y como o núcleo filho, podemos representar o decaimento alfa como:

$${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$$

Exemplo: decaimento do  $^{238}\text{U}$ , que decai emitindo partícula  $\alpha$ , transformando-se em  $^{234}\text{Th}$  por meio da reação:

$${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$$

Figura 11 - Slide: 1ª lei da radioatividade  
Fonte: O autor, 2021.

### 8.3.2 Simulação 09 – Decaimento alfa: Vários átomos

Essa atividade está disponível no Apêndice A9, e foi realizada presencialmente por 16 alunos. Essa atividade tinha por intuito continuar os estudos do decaimento alfa, e desenvolver o conceito de meia-vida.

Foi disponibilizada uma folha para os alunos coletarem os dados durante a simulação e para resolver os exercícios propostos.

Foi customizado um núcleo e colocada sua meia-vida como sendo de um segundo. Foram feitos 5 ensaios e os alunos tinham que anotar a quantidade de átomos que haviam decaído após 1, 2 e 3 segundos, como mostra a figura 12. Após preencher a tabela, foi solicitado que os alunos calculassem o valor médio de núcleos que haviam decaído após 1, 2 e 3 segundos. Foi falado para os alunos que era para calcular essa média pelo de ter o erro humano para parar

a simulação nos instantes indicados para poder preencher a tabela. O valor médio de núcleos decaídos encontrados pelos alunos foi de 50 núcleos quando tinha passado 1 segundo, 76 núcleos quando tinha passado 2 segundos e 86 núcleos quando tinha passado 3 segundos.

**Simulação 02: decaimento  $\alpha$  (3.27): Vários átomos**  
Preencha a tabela a seguir:

99 núcleos iniciais		1 s	2 s	3 s
1ª	Quantidade de núcleos que decaíram:	48	75	87
2ª	Quantidade de núcleos que decaíram:	54	83	92
3ª	Quantidade de núcleos que decaíram:	48	75	85
4ª	Quantidade de núcleos que decaíram:	52	76	82
5ª	Quantidade de núcleos que decaíram:	49	70	82

Figura 12 - Dados coletados pelos alunos - Simulação decaimento alfa: Vários átomos.  
Fonte: O autor, 2021.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 10 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Decaimento Alfa: Vários átomos

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
1- Represente (colorindo o gráfico) a quantidade de núcleos que ainda não tinham decaído nos instantes 1s, 2s e 3s.	100%	0%
2- a) Quantos átomos ainda não tinha decaído após 1 segundo (responda em forma de fração)?	81,3%	18,7%
2- b) Quantos átomos ainda não tinha decaído após 2 segundos (responda em forma de fração)?	81,3%	18,7%
2- c) Quantos átomos ainda não tinha decaído após 3 segundos (responda em forma de fração)?	81,3%	18,7%
2- d) Você consegue prever quantos átomos faltarão decair após 4 segundos (responda em forma de fração)? E após 6 segundos?	62,5%	37,5%
2- e) Tente montar uma equação para calcular a quantidade de átomos que sobram após “n” decaimentos.	56,3%	43,7%

3- Com suas palavras, descreva o que significa meia-vida.	31,3%	78,7%
4- Inicialmente tem-se uma amostra com 100 átomos de polônio-211. Considerando a meia-vida do polônio-211 como sendo 0,5 segundos, quantos átomos de Po-211 sobrarão após ter decorrido 2 segundos?	68,8%	31,2%

Fonte: Autor, 2021

Os alunos tiveram um pouco de dificuldade para fazer a atividade 1, em representar no gráfico de pizza a quantidade de núcleos que ainda não tinham decaído, então voltei na simulação e parei a simulação exatamente nas quantidades indicadas pelos valores médios encontrados pelos alunos (Figura 13), para que eles pudessem observar a imagem representada no gráfico da simulação.

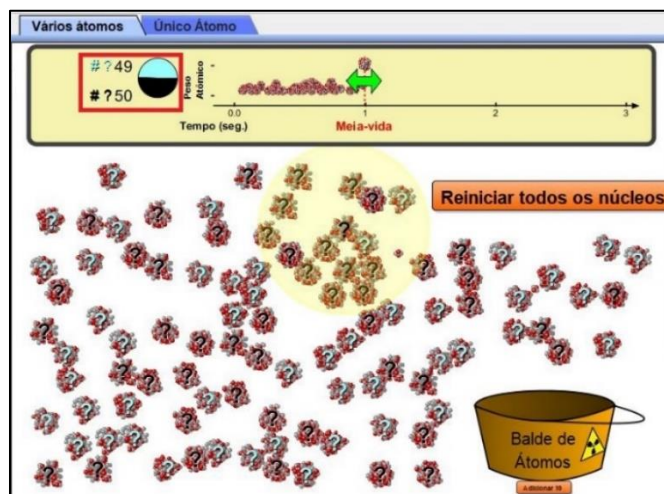


Figura 13 - Simulação decaimento alfa: vários átomos - Gráfico de pizza realçando 50 núcleos decaídos.

Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3ucSEyM> >. Acesso em 20 de dez. 2021.

Após isso os alunos conseguiram realizar a atividade, como representado na Figura 14.

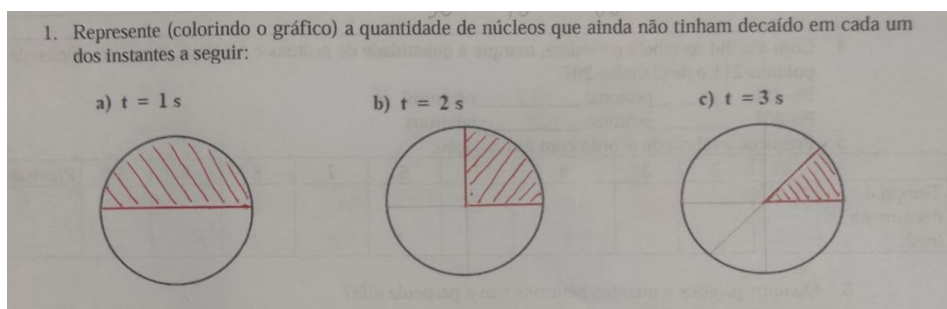


Figura 14 - Atividade Aluno 1: Representação gráfica dos núcleos que ainda não tinham decaído na simulação.

Fonte: O autor, 2021.

O exercício 2 pedia que os alunos representassem em forma de fração a quantidade de núcleos que ainda faltava decair nos instantes 1, 2 e 3 segundos, respectivamente.

Notou-se que muitos alunos tinham muita dificuldade com fração e não estavam conseguindo fazer essa atividade, sendo necessário a intervenção do professor. O professor projetou o exercício no quadro e fez a representação dos gráficos de pizza que os alunos tinham feito no exercício anterior. Em seguida, questionou os alunos em quantas partes iguais o gráfico foi dividido para ter a fração de núcleos que ainda não tinham decaído, que nele estavam representadas em cada um dos três gráficos. Os alunos responderam que o primeiro gráfico, como mostra a Figura 13, estava dividido em duas partes iguais e que a parte em azul representava aproximadamente  $\frac{1}{2}$ , e que o segundo gráfico estava dividido em quatro partes iguais e que a parte em azul representava  $\frac{1}{4}$ , e que o terceiro gráfico estava dividido em oito partes iguais e que a parte em azul representava  $\frac{1}{8}$  do gráfico. O professor reforçou ainda que a parte em azul no gráfico representava aquela fração do total, e, portanto, os alunos deveriam multiplicar a fração representada, pelo número total de núcleos do início. A partir disso os alunos conseguiram fazer essa atividade.

A letra “d” do exercício 2 perguntava para os alunos se eles eram capazes de prever a quantidade de núcleos que ainda não teriam decaído nos instantes 4 segundos e 6 segundos. Alguns alunos buscaram um padrão no que já tinha sido respondido anteriormente, e perceberam que a cada segundo que passava (meia-vida desse material), dobrava o denominador da fração.

A letra “e” do exercício 2 pedia para os alunos tentarem montar uma equação para calcular a quantidade de átomos que sobram após “n” decaimentos. De imediato os alunos relataram não estar conseguindo montar a equação sozinhos e pediram ajuda ao professor. Disseram ter percebido pelos exercícios anteriores que o total núcleos inicial ficava “na parte

de cima da fração” (numerador), e que o número da “parte de baixo da fração” (denominador) dobrava a cada segundo passado, mas eles não sabiam o que fazer com o “n” decaimentos.

O professor explicou para eles que “n” decaimentos era a quantidade de meias-vidas passadas. Em seguida, questionou aos alunos sobre o que poderia ser importante para montar essa equação. Perguntou a eles qual o objetivo principal dessa equação que seria montada, e os alunos responderam que era saber a quantidade de núcleos que iriam sobrar após “n” decaimentos. O professor pediu para os alunos utilizarem a letra n maiúscula (N) para representar esses núcleos que sobravam. Em seguida perguntou se quantidade de núcleos que tinha no início, tinha alguma relação com a quantidade de núcleos que sobrava, e a maioria dos alunos disseram que havia relação. O professor então disse que se essa quantidade inicial é algo que influencia, então deve ser utilizada na equação, e pediu para os alunos representarem a quantidade de núcleos iniciais de  $N_0$  (desde o início do ensino médio, para representar a quantidade inicial de uma grandeza foi utilizado o índice zero, à frente da letra que representa a quantidade inicial de uma grandeza). O professor questionou também se quando decorria o tempo de meia-vida a quantidade de núcleos que ainda não tinham decaído permanecia constante ou diminuía, e os alunos responderam que diminuía. Então, o professor chamou a atenção que o número de meia-vida deveria estar no segundo membro da equação, e de forma que diminua a quantidade de núcleos iniciais a cada meia-vida decorrida.

Os próprios alunos perceberam que a meia-vida estaria relacionada com o denominador das frações dos exercícios anteriores, e um deles chamou a atenção que aqueles denominadores eram iguais as potências de base 2, perguntou ao professor se substituísse o denominador da fração pela potência de base 2 (citou como exemplo substituir o 8 por  $2^3$ ) se o expoente da potência seria o número de meias-vidas, e o professor disse que esse pensamento estava correto.

A questão 3 pedia para os alunos descreverem o significado de meia-vida. Ao serem questionados sobre os gráficos de pizza, deu a impressão que a maioria dos alunos percebeu que a cada meia-vida a quantidade de núcleos que ainda não tinha decaído diminuía pela metade, porém muitas das respostas dos alunos nesta questão 3 estavam confusas ou erradas, e apenas 5 alunos descreveram corretamente o significado de meia-vida.

### **8.3.3 Simulação 10 – Decaimento Beta: único átomo**

Essa atividade está disponível no Apêndice A10, e foi realizada presencialmente por 19 alunos. Essa atividade tinha por intuito estudar e demonstrar algumas características do

decaimento beta, como o que é uma partícula beta, a transmutação nuclear ocorrida nesse tipo de decaimento.

Na questão 01, esperava-se que os alunos percebessem que quando o H-3 decai para o He-3 seu número de massa permanece o mesmo, uma vez que não altera o total de núcleons em seu núcleo. Na questão 02, esperava-se que os alunos respondessem que o H-3 ao decair para o He-3, ocorreu o aumento de uma unidade no total de prótons no núcleo. Esperava-se que os alunos respondessem, na questão 03, que partícula beta é um elétron emitido por um núcleo radioativo. Na questão 05, esperava-se que os alunos percebessem, ao observar a simulação, que o tempo de meia-vida do H-3 é de aproximadamente 12 anos, e que este é o tempo necessário para que metade de uma amostra de núcleos deste material sofra decaimento. Na questão 06, esperava-se que os alunos percebessem que o decaimento beta envolve a transformação de um dos nêutrons do núcleo, em outras três partículas, um próton, um elétron e um antineutrino, e o elétron e o antineutrino são ejetados do núcleo, porém o próton permanece no núcleo, o que faz o seu total de prótons no núcleo aumentar em uma unidade, ocorrendo a transmutação. Na questão 07, esperava-se que os alunos respondessem que do mesmo modo que ocorre no decaimento alfa, a partícula beta emitida por um único átomo é aleatória não sendo possível prever quando ela irá ocorrer.

A seguir temos os registros dessa atividade:

Tabela 11 - Resultados obtidos para as questões – Simulação Decaimento Beta: Único átomo

Questões	% de respostas	
	Esperadas	não esperadas
1- Quando o H-3 decai para He-3 o que acontece com o número de massa do núcleo?	84,2%	15,8%
2- Utilizando uma tabela periódica, confira em quantas unidades o número atômico (número de prótons) aumentou ou diminuiu nesse decaimento.	78,9%	21,1%
3- Explique o que é a partícula beta.	89,5%	10,5%
4- Tente montar uma equação para o decaimento do Hidrogênio-03.	78,9%	21,1%
5- Aproximadamente, quanto tempo é a meia vida de um núcleo de H-3? O que isso significa?	89,5%	10,5%

6- Por que quando um núcleo sofre decaimento beta ele se transforma em outro elemento?	78,9%	21,1%
7- É possível prever quando a partícula beta de um único átomo será emitida?	89,5%	10,5%

Fonte: Autor, 2021

Para que eles fizessem a questão 04, foi projetado novamente à lousa, o slide (figura 15) que apresentava a segunda lei da radioatividade, porém eles teriam que fazer utilizando o núclideo  ${}^3\text{H}$  como pai e o  ${}^3\text{He}$  como núcleo filho.

**DECAIMENTO BETA ( $\beta^-$ )**

2ª lei da radioatividade – quando um radionúclídeo emite uma partícula  $\beta$ , seu número de massa ( $A$ ) permanece constante e seu número de prótons ( $Z$ ) aumenta em uma unidade.

$${}^A_ZX \rightarrow e^- + {}^A_{Z+1}Y + \bar{\nu}_e$$

Exemplo: decaimento do  ${}^{14}\text{C}$ , que decai emitindo partícula  $\beta$ , transformando-se em  ${}^{14}\text{N}$  por meio da reação:

$${}^{14}_6\text{C} \rightarrow e^- + {}^{14}_7\text{N} + \bar{\nu}_e$$

Figura 15 - Slide 2ª lei da radioatividade.  
Fonte: O Autor, 2021.

#### 8.4 ANÁLISE DOS DADOS DOS RESULTADOS: PRÉ E PÓS-TESTE

O questionário prévio foi realizado por 16 alunos, e nele tinha 19 questões (Apêndice B) que foram formuladas na forma de uma escala de opinião do tipo Likert, para que os participantes assumissem uma posição entre dois extremos de uma afirmação e foi elaborado com intuito de verificar alguns conhecimentos prévios dos alunos de conceitos relacionados à radioatividade.

O questionário pós-teste, foi realizado por 19 alunos, e nele continha as mesmas perguntas e afirmações que o questionário prévio, e foi feito pelos alunos após a aplicação das sequências didáticas, sendo utilizado para verificar o impacto da aplicação do produto na aprendizagem dos alunos, ao comparar as respostas dos alunos antes e depois de participarem desta pesquisa.

### 8.4.1 RESULTADOS E ANÁLISE POR QUESTÃO

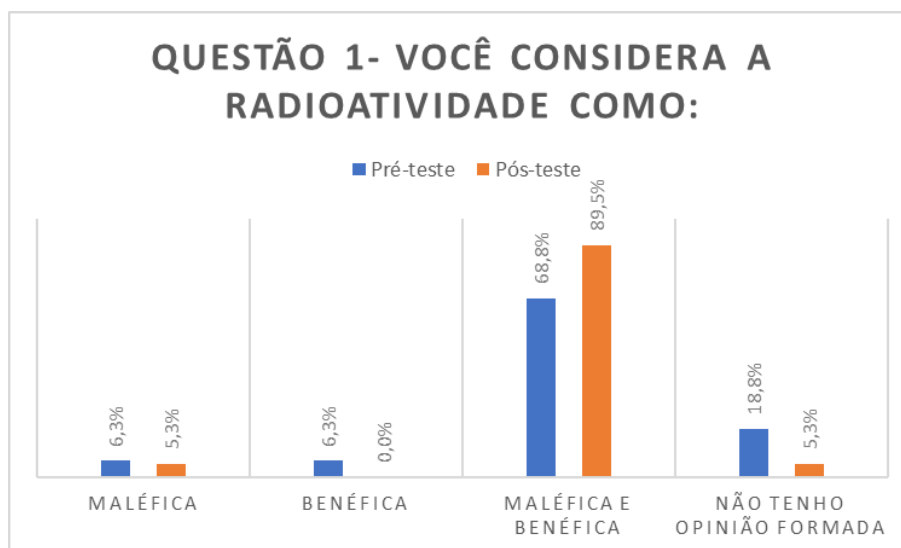


Gráfico 1 - Percentual de alternativas assinaladas para o questionamento 1 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 1 tinha como intenção verificar a posição que os alunos assumiam acerca da radioatividade, em um sentido amplo, como sendo algo bom, como sendo algo ruim, ou se esta apresentava tanto aspectos positivos quanto negativos. De acordo com o Gráfico 1, houve um aumento significativo (mais de 20% de aumento) de alunos que passaram a perceber tanto aspectos positivos quanto aspectos negativos na radioatividade, após a aplicação do produto. O gráfico sugere que boa parte dos alunos que não tinham opinião formada sobre o assunto, ou que consideravam a radiatividade unicamente como benéfica passaram a enxergar pontos positivos e negativos na radioatividade. A opinião dos alunos acerca da radioatividade nesta questão no pré-teste surpreendeu o autor desta dissertação, pois ele acreditava que a maioria das respostas dos alunos seria considerando a radioatividade apenas como maléfica, porém muitos alunos já percebiam também aspectos positivos na radioatividade.



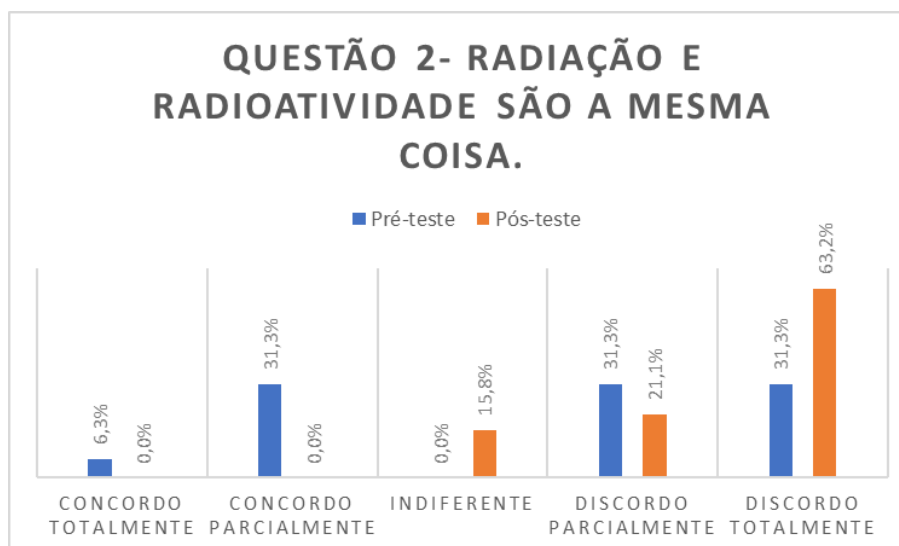


Gráfico 2 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 2 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

Entende-se a radiação como a propagação de energia no espaço, e que tem uma velocidade específica e é classificada como corpuscular ou eletromagnética. Já radioatividade é uma propriedade, que apenas núcleos atômicos instáveis têm, de emitir radiação espontaneamente sob a forma de ondas eletromagnéticas ou partículas, de modo a fazer com que o núcleo atinja níveis de energia mais estáveis. A questão 2 tinha por intuito verificar se os alunos faziam alguma distinção entre radiação e radioatividade. Observando o Gráfico 2, percebe-se que antes da aplicação das sequências didáticas, mais de um terço dos alunos concordavam com a afirmação que radiação e radioatividade são a mesma coisa, fazendo-se necessário abordar e delimitar estes conceitos no material didático. É notável o aumento de alunos que, após a aplicação das sequências didáticas, discordaram totalmente da afirmação, o que leva a crer que após a aplicação boa parte dos alunos passaram a perceber diferenças entre radiação e radioatividade.

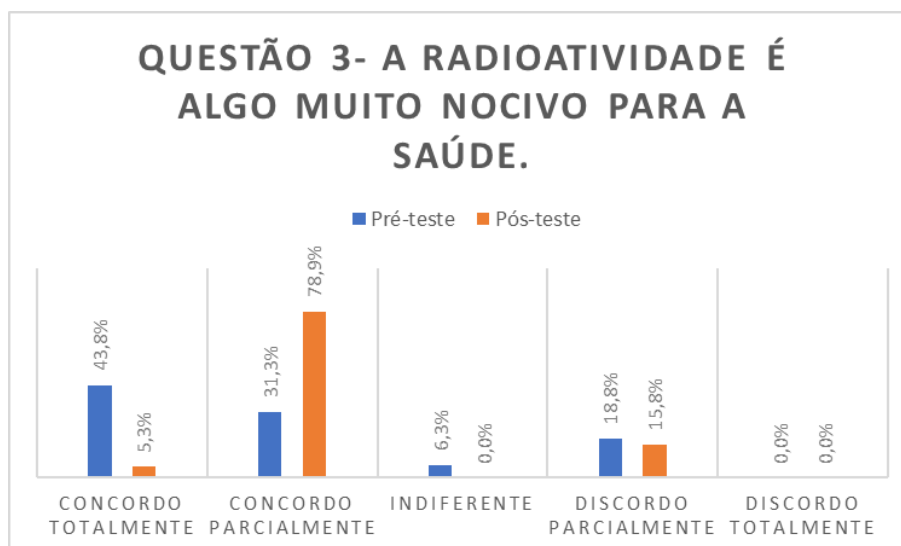


Gráfico 3 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 3 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 3 buscou compreender a relação que os alunos fazem da radioatividade com a saúde, se eles associavam a radioatividade como sendo algo apenas nocivo para saúde, ou se eles conseguiam associar também alguns pontos positivos da radioatividade aplicada à saúde, como utilização em tratamento de câncer, ou para realização de exames. De acordo com o Gráfico 3, após a aplicação das sequências didáticas, percebe-se uma substancial diminuição na porcentagem dos alunos que concordavam totalmente com a afirmativa, e um grande aumento nos que concordam parcialmente, o que sugere que os alunos passaram a perceber também situações onde a aplicação, ou o uso da radioatividade podem ser benéficos para a saúde humana.

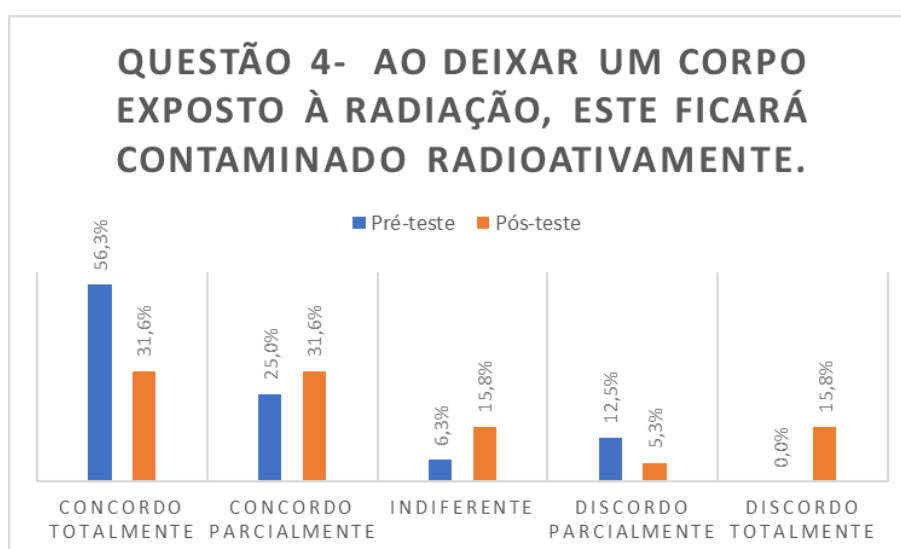


Gráfico 4 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 4 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 4 tinha por objetivo verificar que os alunos conseguiam diferenciar exposição à radioatividade de contaminação radioativa. O Gráfico 4 mostra que os resultados obtidos nestas questões não foram muito positivos, pois antes da aplicação das sequências didáticas, 56,3% dos estudantes concordam totalmente, e outros 25% concordavam parcialmente que se um corpo for exposto à radioatividade ficará contaminado radioativamente, e o pós-teste mostra que muitos alunos mantiveram esse posicionamento (31,6% concordaram totalmente e 31,6% concordaram parcialmente), e ainda 15,8% dos preferiram uma posição de neutralidade com relação a afirmação e apenas 15,8% dos alunos tiveram um posicionamento mais correto, discordando totalmente da afirmação. A pequena quantidade de alunos que discordou da afirmação mesmo após as intervenções das sequências didáticas, leva a crer que para muitos alunos não houve um bom entendimento do conteúdo relacionado a esta questão.

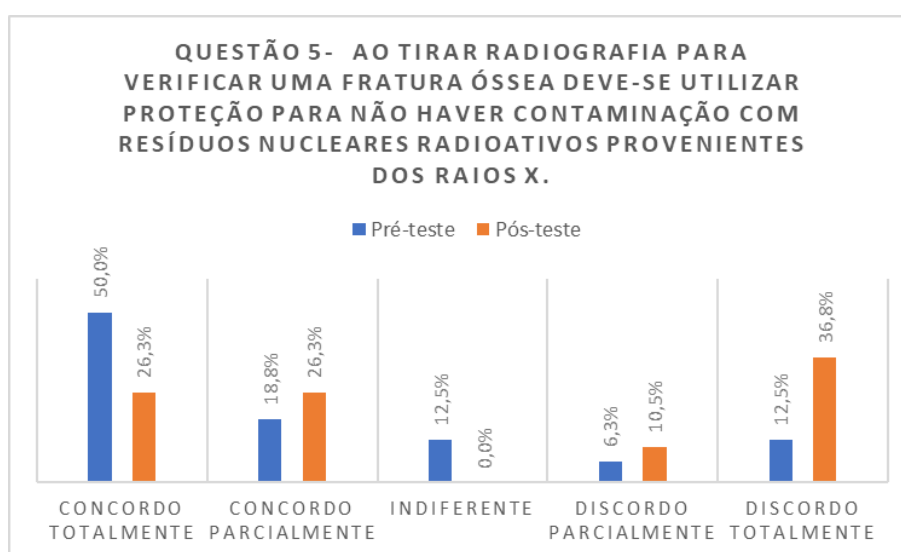


Gráfico 5 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 5 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 5 tinha por intuito verificar uma confusão muito comum, onde as pessoas acreditam que ao tirar uma radiográfica existem materiais radioativos envolvidos. No Gráfico 5, percebe-se que antes da aplicação das sequências didáticas, a maioria das respostas dos alunos se concentrou em “concordo totalmente com a afirmação”, e após a aplicação, mesmo muitos alunos ainda concordando com a afirmativa, houve uma melhora significativa, tendo uma grande diminuição no percentual de alunos que concordavam totalmente e que achavam indiferente, e um aumento significativo nos alunos que discordavam completamente, o que indica que muitos alunos compreenderam que os raios X não têm relação nenhuma com a radioatividade.

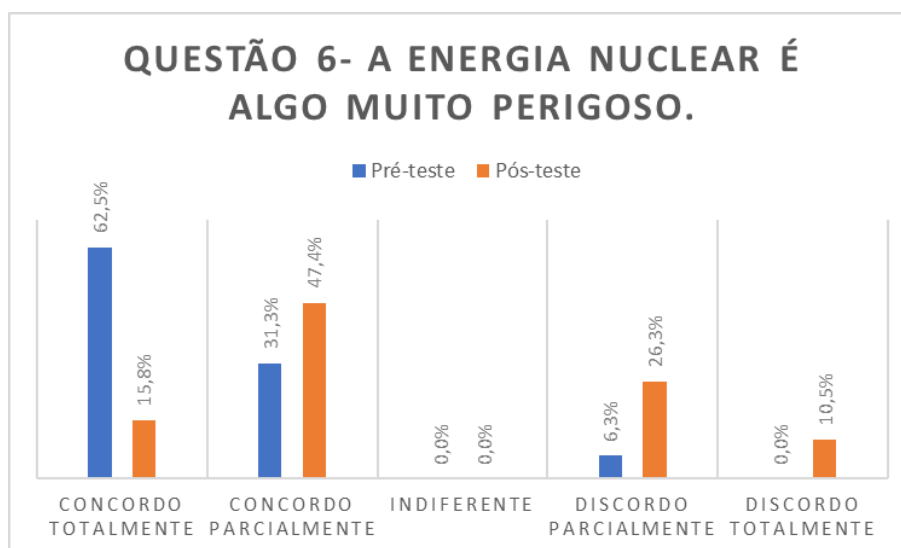


Gráfico 6 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 6 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 6 tinha por objetivo verificar a opinião dos alunos com relação à energia nuclear. Observando o Gráfico 6, percebe-se que de início, a maioria dos alunos associavam a energia nuclear como algo muito perigoso. Comparando as respostas dos alunos no pré e pós-teste, percebe-se que no pós-teste houve uma diminuição significativa no percentual de alunos que concordavam totalmente e um aumento significativo nos que concordavam parcialmente e que discordavam da afirmativa, o que sugere uma mudança na forma de pensar dos alunos após a aplicação do produto.

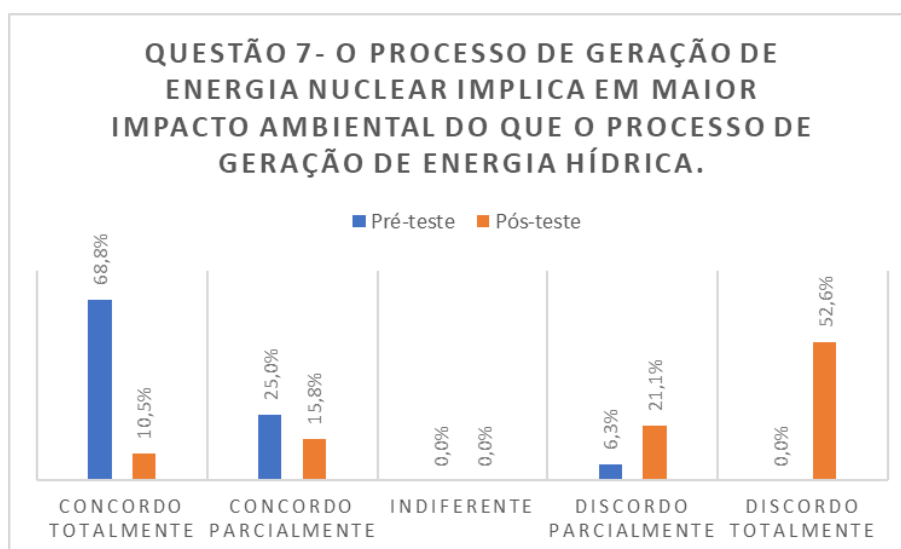


Gráfico 7 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 7 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 7 tinha por objetivo verificar a ideia que os alunos faziam sobre o impacto ambiental ocasionado por uma usina nuclear, comparado com de uma hidrelétrica. O Gráfico 7 mostra que antes da aplicação das sequências didáticas, havia uma maior concordância que a produção de energia nuclear envolve maior impacto ambiental que a produção de energia hídrica e após a aplicação, ocorreu uma mudança na forma de pensar dos alunos e a maioria destes passaram a discordar dessa afirmação, atribuindo maior impacto ambiental à energia hídrica em comparação com a energia nuclear.

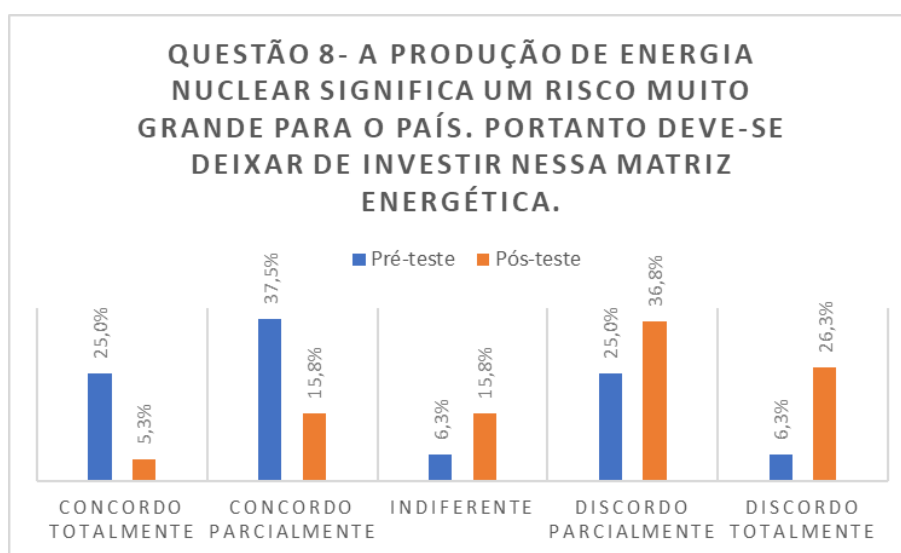


Gráfico 8 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 8 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

Ainda sobre a energia nuclear, a questão 8 traz uma afirmação que leva os alunos a se posicionarem se o país deve deixar de investir na matriz energética nuclear. O Gráfico 8 mostra que antes da aplicação das sequências didáticas, a maioria dos alunos concordavam com a afirmação de que a produção de energia nuclear significa um risco muito grande para o país, e este deve deixar de investir nessa matriz energética. Após a aplicação houve uma maior incidência de alunos que discordaram da afirmação, o que aponta mudança na forma de pensar da maioria dos alunos.

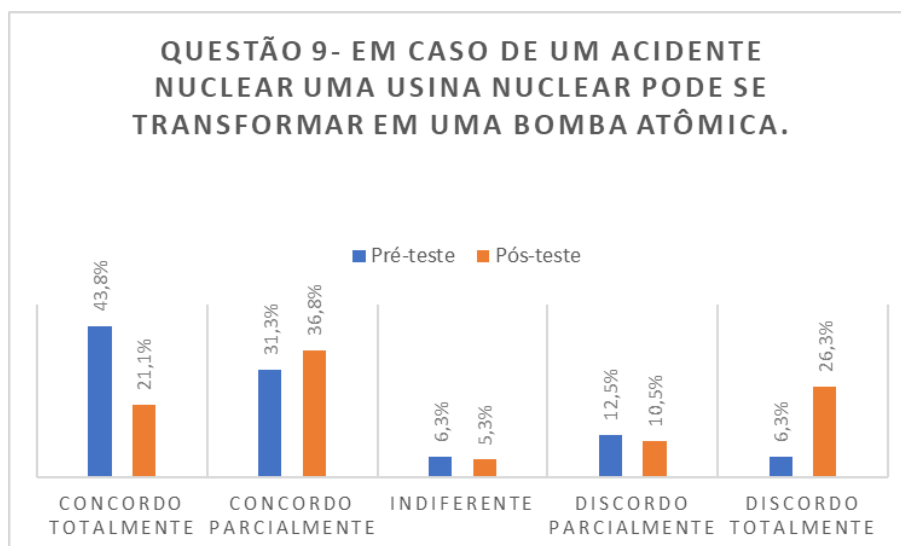


Gráfico 9 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 9 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 9 trazia outra confusão comum feita por muitas pessoas de que uma usina nuclear, em caso de um acidente nuclear, pode explodir como uma bomba nuclear. O Gráfico 9 mostra que antes da aplicação das sequências didáticas, mais de 43% dos alunos concordavam totalmente e mais de 31% concordavam parcialmente que um acidente nuclear pode transformar uma usina nuclear numa bomba atômica. O pós-teste mostrou uma diminuição de mais de 22% dos alunos que concordavam totalmente com a afirmativa, e um aumento de 20% dos que discordavam totalmente.

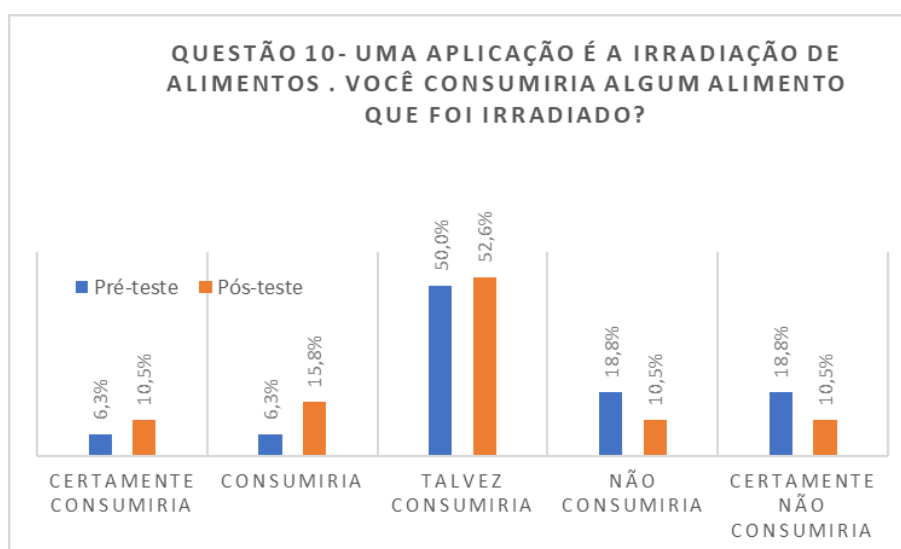


Gráfico 10 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 10 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 10 traz uma aplicação da radioatividade à agricultura, e questiona os alunos se eles consumiriam alimentos que foram irradiados. Essa questão também tinha como objetivo

também verificar se os alunos faziam distinção entre exposição à radiação e contaminação radioativa. Ao comparar o pré com o pós-teste, pelo Gráfico 10, percebe-se que embora o pós-teste aponte um pequeno aumento na porcentagem de alunos que consumiriam algum alimento irradiado, boa parte dos alunos ainda tinha receio em consumir algum alimento irradiado, ou ainda não opinião formada se consumiria ou não, o que aponta que a concepção de que se algo for exposto à radiação se contaminará radioativamente está bem arraigada na estrutura cognitiva dos alunos.

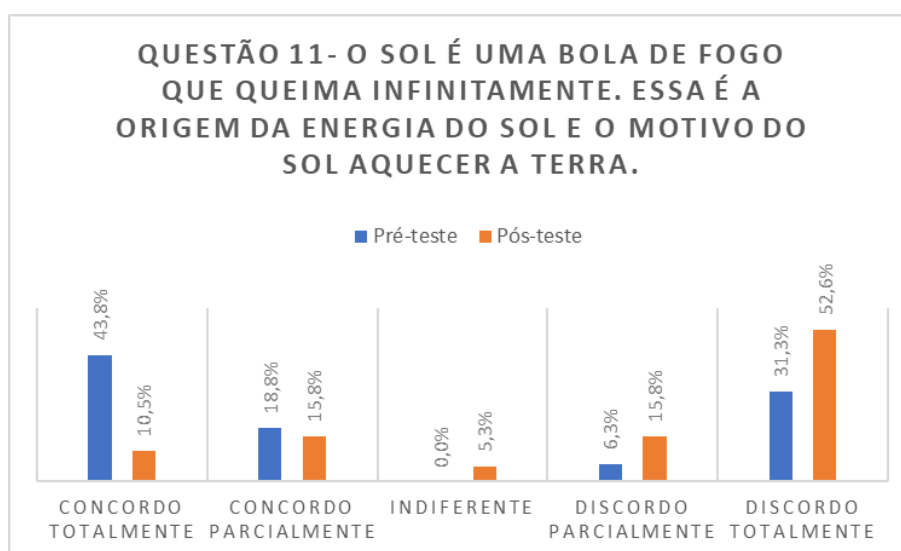


Gráfico 11 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 11 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 11 traz uma afirmação sobre a origem da energia do Sol. De acordo com o Gráfico 11, antes da aplicação das sequências didáticas, a maioria dos alunos concordavam de forma errônea que o Sol seria uma bola de fogo que queima infinitamente e que a origem da energia do Sol seria dessa combustão. Após a aplicação, percebe-se um aumento significativo na porcentagem de alunos, que de forma correta discordaram totalmente da afirmativa, o que pode indicar que estes tenham atingido a aprendizagem significativa de que a origem da energia do Sol é do processo de fusão nuclear.

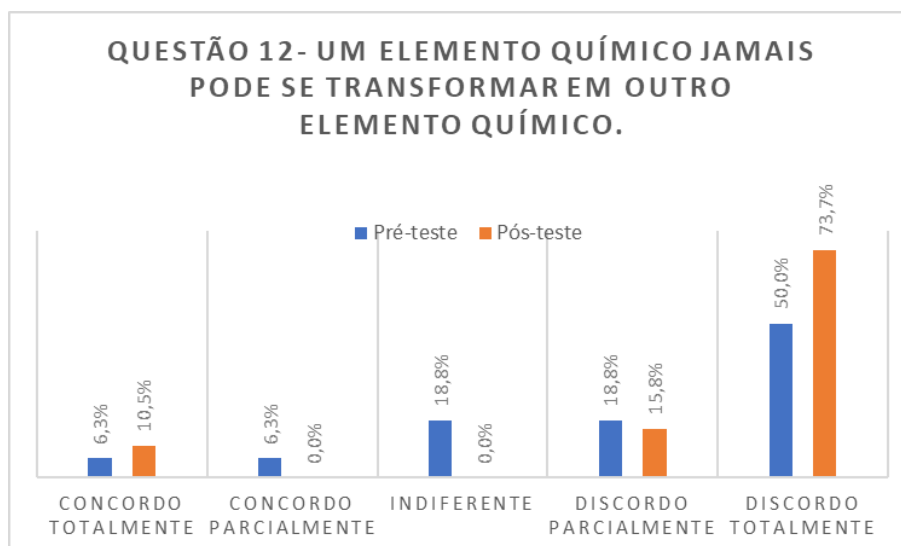


Gráfico 12 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 12 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021

A questão 12 visava verificar as concepções dos alunos acerca do conceito de transmutação nuclear. Pelo Gráfico 12, ao comparar as respostas do pré e do pós-teste, percebe-se um aumento significativo (mais de 23%) no percentual de alunos que discordaram totalmente da afirmativa de que um elemento químico jamais se transforma noutro elemento, o que leva a crer que os conceitos de transmutação nuclear estudados na fissão e fusão nuclear e nos decaimentos radioativos, alfa e beta, foram bem assimilados pela maioria dos alunos.

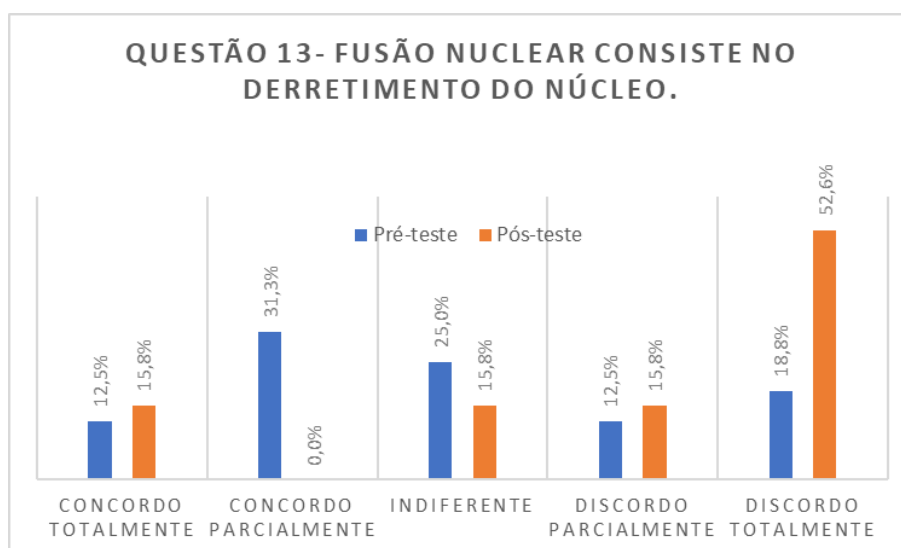


Gráfico 13 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 13 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 13 trouxe uma afirmação errônea sobre uma definição de fusão nuclear fazendo uma confusão com o conceito de fusão na física térmica. Como a afirmação está totalmente incorreta, considera-se que apenas os alunos que discordaram totalmente tiveram



uma opinião correta acerca da afirmativa. Utilizando o Gráfico 13 para comparar a opinião dos alunos antes e depois da aplicação das sequências didáticas, percebe-se que no pré-teste apenas 18,8% dos alunos discordaram totalmente da afirmação, e mais de 43% dos participantes concordaram com a afirmativa, o que sugere a possibilidade de existir concepções espontâneas acerca do conceito de fusão nuclear em boa parte dos alunos. Após a aplicação do produto desta dissertação, houve um aumento significativo dos alunos que discordaram totalmente, totalizando 52,6% dos alunos, havendo uma melhora significativa das respostas corretas.

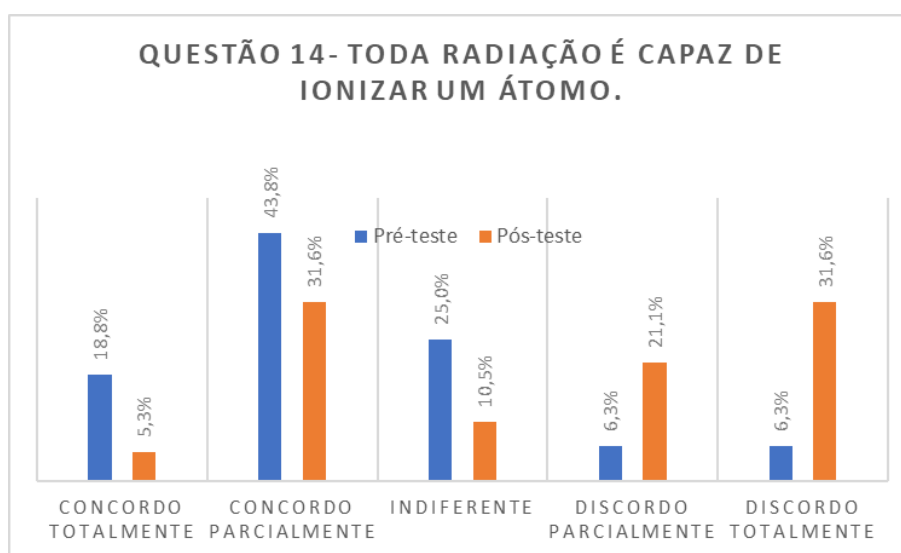


Gráfico 14 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 14 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 14 trouxe a afirmação de que toda radiação é capaz de ionizar um átomo. Para ionizar um átomo é necessária uma energia de pelo menos 13,6 eV, portanto apenas as radiações com frequências superiores a cerca de  $3 \cdot 10^{15}$  Hz (uma parte do ultravioleta, raios-X, raios gama, partícula alfa e partícula beta) podem arrancar elétrons de um átomo, ionizando-o. Portanto considera-se que os alunos que discordaram totalmente tiveram uma opinião correta acerca da afirmação. De acordo com o Gráfico 14, no pré-teste mais de 50% dos alunos concordaram com a afirmativa, um quarto deles optou por uma posição neutra e apenas 6,3% discordaram totalmente. O pós-teste mostrou apontou ainda grande concentração de respostas concordando parcialmente, com 31,6% das respostas, e em discordo totalmente, também com 31,6% das respostas. Houve um aumento significativo de cerca de 25% de acertos do pré para o pós-teste.

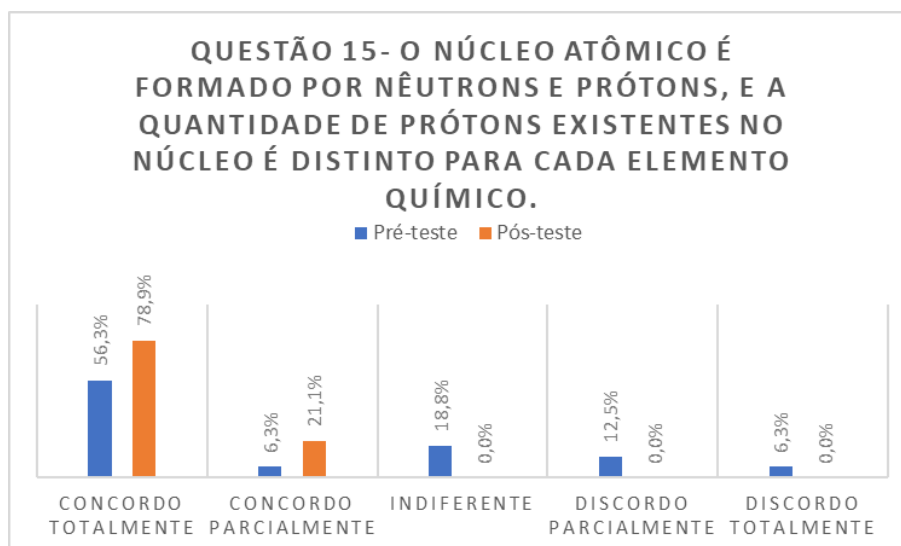


Gráfico 15 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 15 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 15 trouxe uma afirmação correta acerca de partículas presentes no núcleo, e a característica de que a quantidade de prótons no núcleo ser distinta para cada elemento químico. O Gráfico 15 mostrou que no pré-teste, cerca de 56% dos alunos responderam corretamente concordando totalmente com a afirmativa, porém cerca de 44% dos alunos tiveram uma opinião equivocada com relação a afirmação, apontando a necessidade em abordar esses conceitos nas sequências didáticas. O pós-teste aponta que 78,9% dos alunos responderam corretamente essa questão, discordando totalmente da afirmativa, o que significa um aumento de mais de 22% de acerto, com relação ao pré-teste.

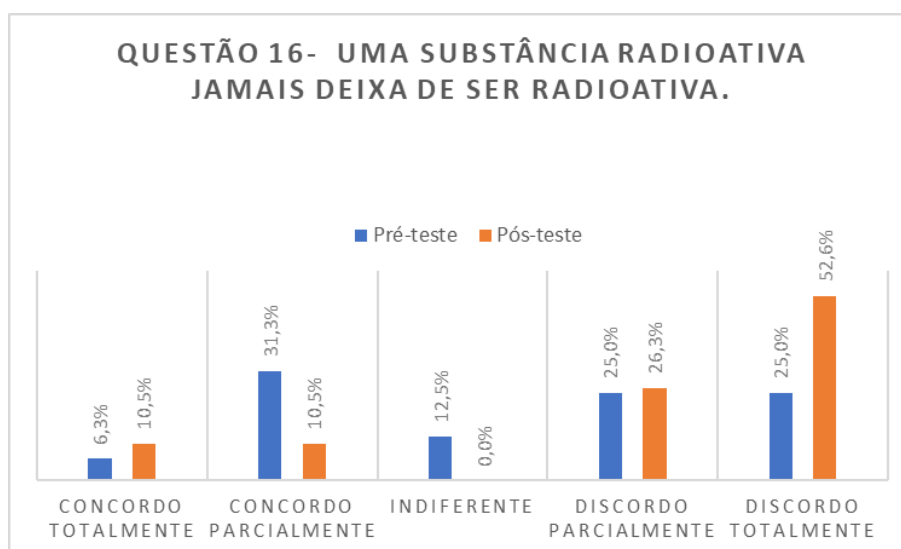


Gráfico 16 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 16 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 16 trouxe uma afirmação errônea de que uma substância radioativa jamais deixa de ser radioativa. Na realidade, um núcleo radioativo emite energia, na forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas, até atingir a estabilidade, ou seja, até deixar de ser radioativo. Observando o Gráfico 16, percebe-se o significativo aumento dos alunos que discordaram totalmente dessa afirmativa no pós-teste (mais de 45% de aumento), o que denota evolução de boa parte dos alunos.

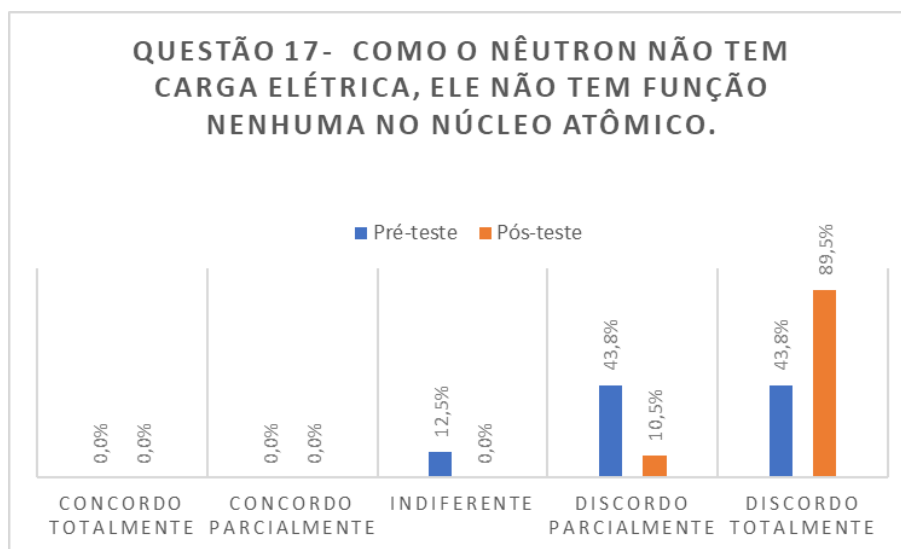


Gráfico 17 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 17 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 17 trouxe uma afirmação errônea de que o nêutron, por não ter carga elétrica, não tem função nenhuma no núcleo atômico. Observando o Gráfico 16, percebe-se o significativo aumento dos alunos que discordaram totalmente dessa afirmativa no pós-teste (mais de 30% de aumento), o que denota evolução de boa parte dos alunos.

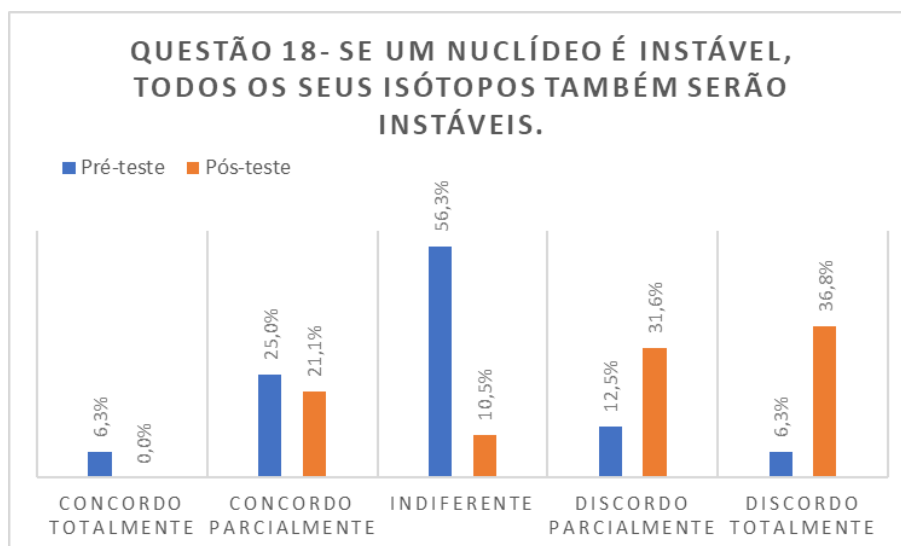


Gráfico 18 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 18 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 18 trouxe uma afirmação errônea de que se um nuclídeo for instável, todos os seus isótopos também serão instáveis. Pelo Gráfico 18, percebe-se que no pré-teste mais da metade dos alunos optaram por um posicionamento neutro, nem concordando e nem discordando com a afirmativa, e pelo pós-teste fica nítido uma evolução considerável (mais de 30%) no percentual de alunos que discordaram totalmente da afirmação, o que denota evolução de boa parte dos alunos.

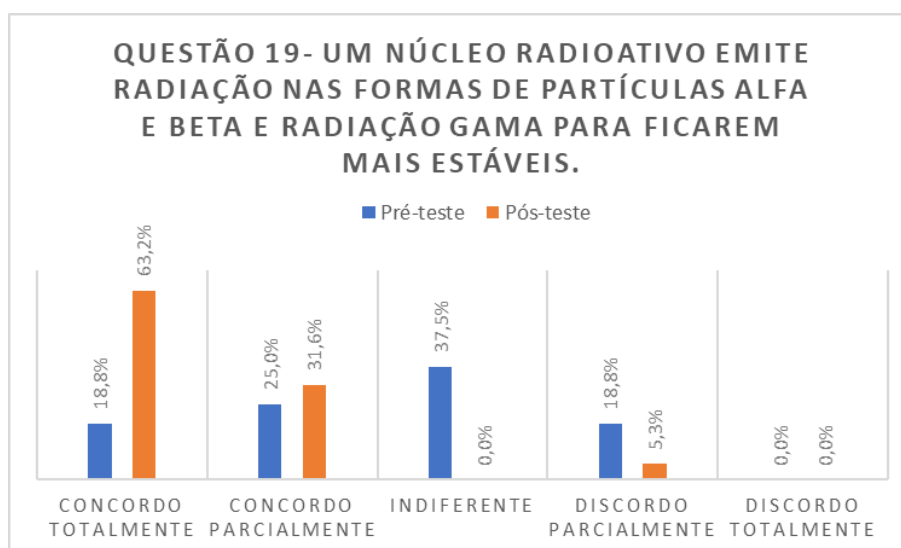


Gráfico 19 - Percentual de alternativas assinaladas para a afirmativa 19 no pré e pós-teste.  
Fonte: Autor, 2021.

A questão 19 trouxe uma afirmação correta acerca de um núcleo radioativo emitir radiação nas formas de partículas alfa e beta e radiação gama para ficarem mais estáveis, e o Gráfico 19 apresenta um significativo aumento dos alunos que concordaram totalmente com

essa afirmativa no pós-teste (mais de 44% de aumento), o que denota evolução de boa parte dos alunos.

## 8.5 AVALIAÇÃO DO CURSO PELOS ALUNOS

Concluindo o projeto, foi solicitado que os alunos avaliassem, por meio de um questionário, o curso de modo a verificar o seu grau de satisfação, motivação e aprendizagem adquirida. Esse questionário foi respondido, de forma presencial, por 12 alunos no dia 06/12/2021.

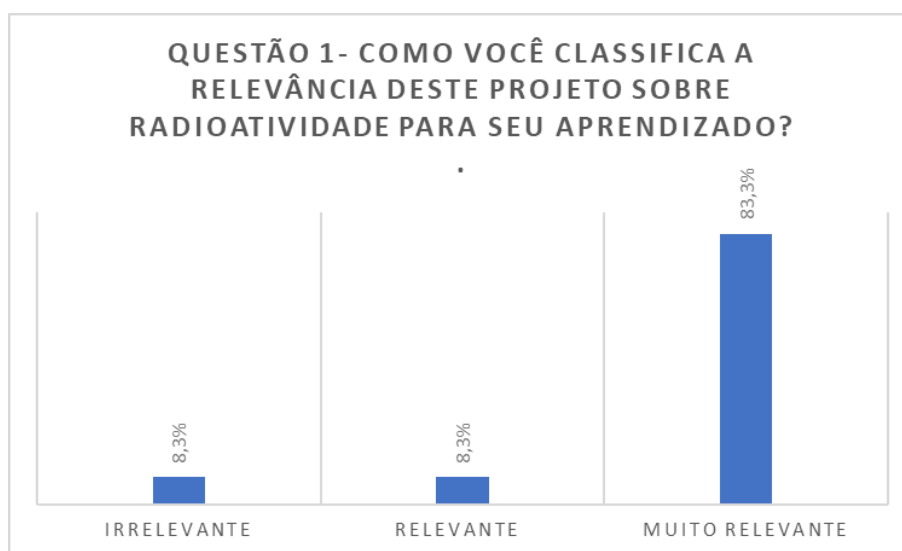


Gráfico 20 - Respostas dos alunos na questão 1 de avaliação do curso.

Fonte: o autor, 2021.

A primeira pergunta tinha o objetivo de verificar, na óptica do aluno, a relevância das sequências didáticas para o seu aprendizado. De acordo com o Gráfico 20, mais de 80% dos alunos que responderam essa questão, consideraram que as sequências didáticas foram muito relevantes para o seu aprendizado.

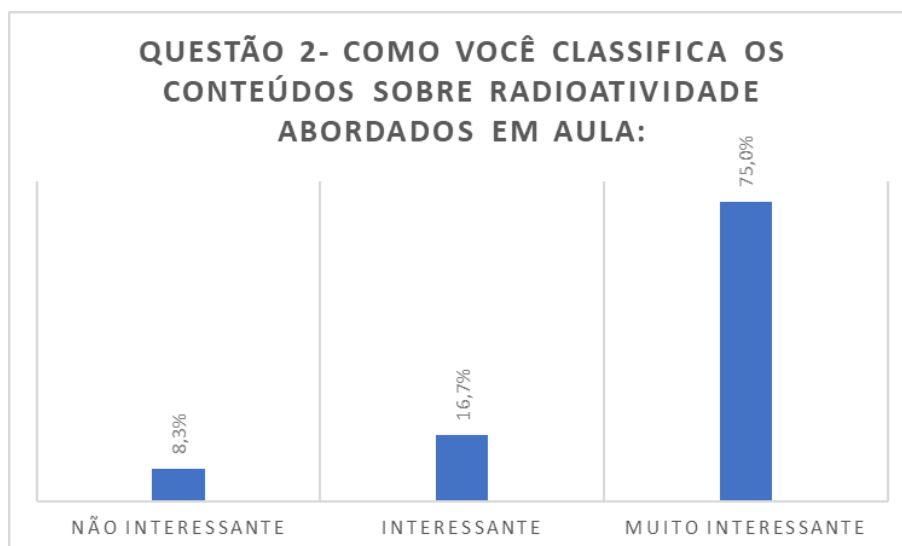


Gráfico 21 - Respostas dos alunos na questão 2 de avaliação do curso.  
Fonte: o autor, 2021.

A questão 2 visava verificar o grau de interesse dos alunos com os conteúdos de física moderna abordados nas sequências didáticas. De acordo com o Gráfico 21, 75% dos alunos que responderam essa questão, consideraram que os conteúdos abordados nas sequências didáticas são muito interessantes.

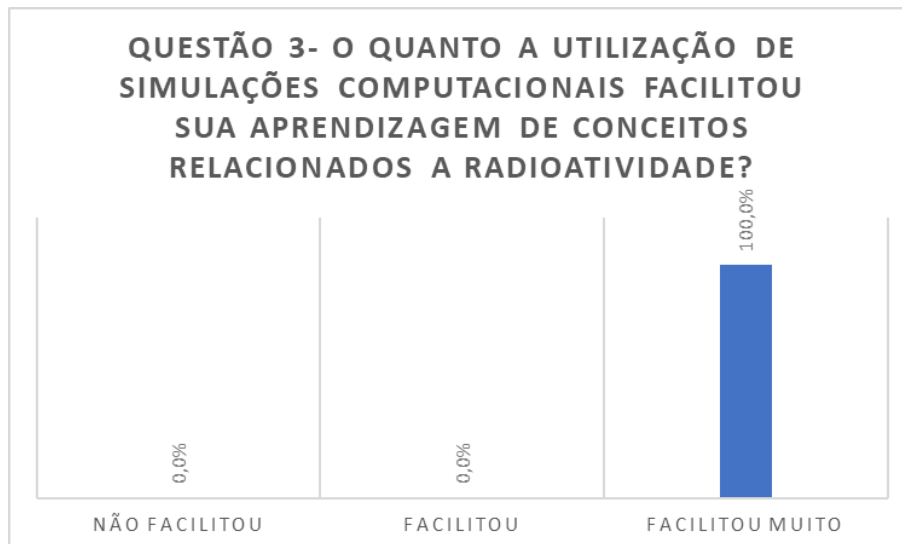


Gráfico 22 - Respostas dos alunos na questão 3 de avaliação do curso.  
Fonte: o autor, 2021.

A questão 3 visava verificar o quanto a utilização de simulações computacionais facilitou, ou não, o aprendizado do aluno. E o Gráfico 22 indica que todos alunos que responderam este questionário consideraram que a utilização de simulações computacionais facilitou muito o seu aprendizado.



Gráfico 23 - Respostas dos alunos na questão 4 de avaliação do curso.  
Fonte: o autor, 2021.

A questão 4 visava verificar como a atuação do professor durante o projeto favoreceu, ou não, na aprendizagem do aluno. Pelo Gráfico 24, mais de 90% dos alunos consideraram que a atuação do professor favoreceu muito sua aprendizagem.

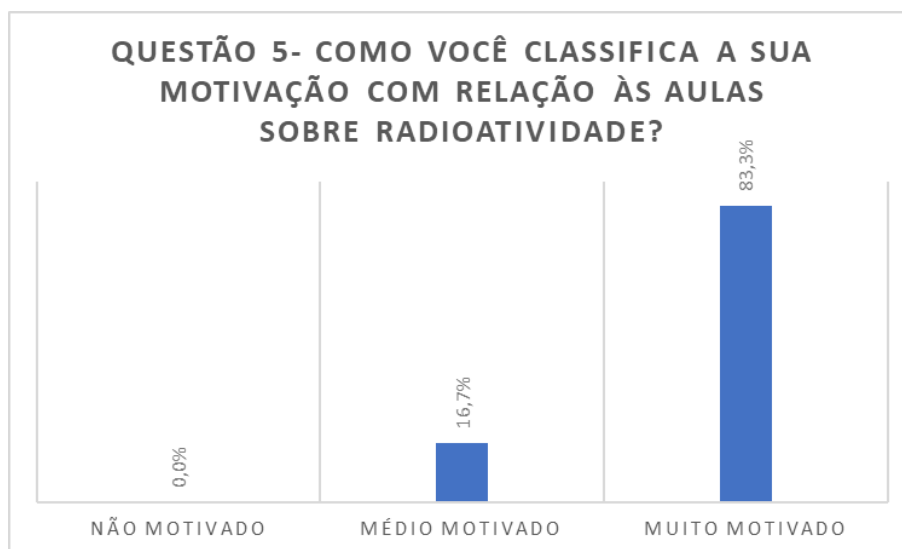


Gráfico 24 - Respostas dos alunos na questão 5 de avaliação do curso.  
Fonte: o autor, 2021.

A questão 5 tinha o intuito de verificar o grau de motivação dos alunos durante a aplicação das sequências didáticas. De acordo com o Gráfico 25, mais de 83% dos alunos se consideraram muito motivados com a realização das aulas sobre radioatividade.

Por este questionário, pode-se considerar que a maioria dos alunos se interessou pelos conteúdos trabalhados, e a maneira como os conteúdos foram abordados facilitou o seu

aprendizado. Eles consideraram ainda que a utilização de simulações computacionais facilitou o seu aprendizado, e a maioria deles se considerou muito motivado durante as aulas.

A questão 6 perguntava se os alunos tinham alguma sugestão de melhoria das aulas. A maioria dos alunos não tiveram sugestões, e apenas dois alunos sugeriram que gostariam de ter aulas de física quântica e de astronomia.



## 9 CONCLUSÃO

A aplicação das sequências didáticas se deu no último bimestre letivo de 2021. Muitos fatores foram determinantes e relevantes no desenvolvimento deste trabalho. Alguns desses fatores não estavam sob o controle deste pesquisador, como o caso da pandemia COVID-19, e de decisões governamentais que alterava o regime das aulas (de remoto para híbrido e de híbrido para presencial), sendo por vezes, necessário que o professor se adaptasse e alterasse planejamento e desenvolvimento das aulas.

Muitos alunos aproveitaram o período de aulas remotas para arrumar emprego, e isso impactou no baixo número de alunos durante as aulas remotas. Estas aulas foram gravadas e disponibilizadas no *Google Classroom*, para que os alunos que não participaram da aula em tempo real pudessem assistir. Embora muitos alunos tenham relatado ter assistido as gravações das aulas, e outros tenham pedido o link da aula para assistir, não foi possível controlar a quantidade de alunos que realmente assistiram a essas aulas. O que faz acreditar que de fato eles tenham assistido essas gravações foi a melhora de rendimento apontado no questionário pós-teste nas questões que envolveram os conceitos que foram trabalhados de forma remota.

O objetivo central deste trabalho era desenvolver sequências didáticas que contemplassem os conceitos da radioatividade, de modo que pudesse auxiliar a prática futura de professores nesta temática, e ao realizar esse trabalho, foi possível desenvolver e colocar em prática, sequências didáticas que contemplaram este conteúdo relevante da física moderna.

De modo geral, tendo em vista os resultados apontados pela comparação entre os questionários de pré-teste e pós-teste, foi possível concluir que ocorreu melhora na aprendizagem dos alunos e, portanto, esse material pode ser considerado como potencialmente significativo. Visto a melhora de desempenho percebida, consideramos que o objetivo de promover aos alunos a aprendizagem significativa dos conceitos relacionados à radioatividade e as suas aplicações teve êxito com boa parte dos discentes.

Radioatividade e energia nuclear envolvem conceitos de grande abstração e o estudo de partículas extremamente pequenas, e as simulações computacionais possibilitaram trazer ao visível e ilustrar bem esses conceitos, sendo que os alunos, ao avaliar o curso, consideraram de forma unânime que elas facilitaram muito o seu aprendizado. Além disso, a análise dos resultados das atividades de aplicação do conhecimento que envolviam simulações computacionais, mostra que foi possível os alunos criarem hipóteses, e desenvolverem novos subsunçores com capacidade para ancorar os conceitos de isótopos, número de massa, número

atômico, estabilidade nuclear, fissão nuclear, meia-vida, reação em cadeia, reator nuclear, e sobre decaimentos radioativos.

Pelo questionário prévio foi possível perceber que muitos alunos possuíam visão negativa sobre radioatividade e sobre a energia nuclear, e após a intervenção pedagógica realizada pela aplicação deste produto educacional, as respostas ao questionário pós-teste apontam mudanças dessas concepções, indicando que estes alunos passaram a ver também a existência de aspectos positivos, o que sugere que o objetivo de desmistificar a radioatividade e a energia nuclear como sendo algo unicamente ruim tenha sido alcançado. Além disso, em conversas, discussões e exercícios realizados em aula, por vezes o aluno foi instigado a pensar e se posicionar perante situações controversas, fatos estes que contribuíram para o seu pensamento crítico.

Embora em algumas aulas pouquíssimos alunos tenham comparecido, presencialmente ou virtualmente, foi nítido o interesse e motivação dos alunos presentes, tanto pelo conteúdo em si, quanto pelas aulas e atividades envolvendo simulações computacionais. Esse interesse e motivação ficou evidenciado no questionário de avaliação das sequências didáticas.

Nem todo resultado foi positivo. O questionário pós-teste também mostrou, que mesmo após a aplicação das sequências didáticas, alguns alunos ainda apresentavam posicionamentos incorretos, o que sugere a existência de concepções espontâneas fortemente arraigadas na estrutura cognitiva destes alunos, ou que eles não tenham assistido, ou que tenham perdido algumas aulas importantes para o desenvolvimento dos conceitos.

Para trabalhos futuros, pretendemos abordar mais a fundo a interação da radiação com a matéria e outras relações da radioatividade com a sociedade e com o avanço tecnológico. Pretendemos também ampliar as sequências didáticas abordando os demais conteúdos de Física Nuclear e realizar oficinas com professores e/ou futuros professores com estas sequências didáticas com intuito de contribuir com sua formação e prática docente.

## 10 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ageu Pereira de. **Tópicos De Física Quântica No Ensino Médio Utilizando Simulações Computacionais**. UFT. Araguaina- TO, 2018. Disponível em:<<https://booksc.xyz/book/73491623/655619>> acesso em 17/07/2020.

AUSUBEL, David. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

BIAZUS, Marivane de Oliveira et al. **Tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio: interfaces de uma proposta didática para mecânica quântica**. Passo Fundo - RS, 2015.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017.

BRASIL, L. D. B. Lei 9394/96–Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Disponível [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm). Acesso em 13/01/2020, v. 30, 2015.

BRASIL, SEMTEC. Pcn+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2000.

CANÔAS, Claudia Swain. **Profissão TI. Conhecimento & Diversidade**, v. 3, n. 5, p. 84-92, 2012.

CALDAS, José; SILVA, Bento Duarte da. **Utilizar o vídeo numa perspectiva construtivista**. Universidade do Minho. Centro de Competência do Projeto Nónio Século XXI, 2001.

COMO FUNCIONA UMA USINA NUCLEAR? In: Testando vídeos. Youtube, 2014. Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3r6A3mb>>. Acesso em 16/01/2021.

DECAIMENTO ALFA. In: Phet Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Disponível em: < [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/alpha-decay](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/alpha-decay)>. Acesso em: 20/12/2021.

DECAIMENTO BETA. In: Phet Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/beta-decay](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay)>. Acesso em: 20/12/2021.

DELIZOICOV, Demétrio. **Concepção problematizadora para o ensino de ciências na educação formal: relato e análise de uma prática educacional na Guiné-Bissau**. 1982. 227 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DELIZOICOV, Demétrio. **Conhecimento, Tensões e Transições**. Tese de doutorado. FE/USP, São Paulo, 1991.

DELIZOICOV, Demétrio. **Problemas e problematizações. Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990a.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André & PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo, SP: Ed. Cortez, 2002.

DIAS, Rovandro Spenser et al. **Radioatividade: um módulo didático para o Ensino Médio**. 2013.

FARIAS, Suelen Conceição. **Os benefícios das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) no processo de Educação a Distância (EAD)**. RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, SP, v. 11, n. 3, p. 15–29, 2013. DOI: 10.20396/rdbci.v11i3.1628. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1628>>. Acesso em: 28/11/2020.

FILOSOFIA EM QUADRINHOS. Constituinte básico da matéria. 2012, Disponível em: <<https://bit.ly/3g1i6iA>>. Acesso em: 20/01/2021.

FÍSICA NUCLEAR: A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE. Prof. Perdigão. Youtube. Disponível em: <<https://bit.ly/32GYfCm>>. Acesso em: 20/11/2021.

FISSÃO NUCLEAR. In: Phet Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/nuclear-fission](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission)>. Acesso em: 20/12/2021.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 11<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GEHLEN, Simoni T. **A função do problema no processo ensino-aprendizagem de ciências: contribuições de Freire e Vygotsky**. Florianópolis: UFSC, 2009. Tese de Doutorado. Tese doutorado.

GONÇALVES, Leila J.; VEIT, Eliane A.; SILVEIRA, Fernando L.. **Textos, animações, e vídeos para o ensino-aprendizagem de física térmica no ensino médio**. 2003.

Disponível em: <[https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo\\_ID17/pdf/2006\\_1\\_1\\_17.pdf](https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID17/pdf/2006_1_1_17.pdf)>. Acesso em 28/11/2020.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Vol. 4. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009

HIROSHIMA: O DIA SEGUINTE. In.: Full hd documentários. Youtube, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3r7meUH>>. Acesso em 20/11/2021.

LOOS, Pedro Emílio Niebuhr. **A Fusão Nuclear Explicada: Energia do Futuro?** Youtube. Disponível em: <<https://bit.ly/3rTrR89>>. Acesso em 16 /01/2021.

MAGALHÃES et al. **Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física**. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2002, vol.24, n.4, pp.489-496.

MARENGÃO, Leonardo Santiago Lima et al. **Os Três Momentos Pedagógicos e a elaboração de problemas de Física pelos estudantes**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Goiás, Goiania.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. **Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002.

MÉDIO, Física-Ensino. **Proposta Curricular–CBC**, 2007.

MONTE UM ÁTOMO. In: Phet Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_pt_BR.html)>. Acesso em: 20/12/2021.

MOREIRA, M. A. **Unidades de enseñanza potencialmente significativas-ueps**. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)> acesso em: 28/11/2020.

MOREIRA, Marco Antonio. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa (advanced organizers and meaningful learning)**. *Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas v e unidades de ensino potencialmente significativas*, p. 30, 2012.

MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demétrio. **Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”**. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 20, n. 3, 617-638, 2014

NUCLEAR POWER CAN PLAY AN IMPORTANT ROLE IN CLEAN ENERGY TRANSITIONS. **International Energy Agency**. Disponível em:< <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/nuclear>> acesso em: 25/11/2020.

NUCLEAR POWER IN THE WORLD TODAY. **World Nuclear Association**. Disponível em: < <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx> >. Acesso em: 25/11/2020.

NUNES, Magda Moreira. **Possibilidades do uso de vídeos e videoaulas no ensino de Física**. Dissertação de Mestrado. UFMG, 2017.

OLIVEIRA, Suzicleide Lopes de. **Elementos de Radioatividade a Partir de Primeiros Princípios e Aspectos Ambientais no Distrito Uranífero de Lagoa Real-BA**. 2014. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA.

OSTERMANN, F., FERREIRA, L. M., CAVALCANTI, C. J. H. **Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. **Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores**. Enseñanza de las Ciencias, v. 18, n. 3, p. 391-404, 2000.

PERFOLL, Aline Pâmela; REZENDE JR, M. F. **A Física Moderna e Contemporânea e o ensino de Engenharia: Contexto e Perspectivas**. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Passo Fundo. 2006.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank et al. **O processo de conceitualização em situações diferenciadas na formação inicial de professores de física**. 2006.

ROCHA, L. C. T. et al. **Dificuldades encontradas para aprender e ensinar física moderna**. Sci. Elec. Arch. Vol. 10. Sinop-MT, 2017.

SILVA, André Coelho da; ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro de. **Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 624-652, 2011.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. **A Transposição Didática aplicada a teoria contemporânea: A Física de Partículas elementares no Ensino Médio**. X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina, 2006.

TAVARES, Romero. **Aprendizagem significativa**. Revista conceitos, v. 55, n. 10, 2004.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TIPLER, Paul; MOSCA, Gene. **Física Para Cientistas e Engenheiros**. v. 3. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMANN, Roger A. **Física IV: Ótica e Física Moderna**. 12<sup>a</sup> ed. Paulo: Pearson, 2008.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMANN, Roger A. **Física IV: Ótica e Física Moderna**. 14<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pearson, 2016.

## APÊNDICE .A ATIVIDADES COM SIMULADORES:

### A.1 SIMULAÇÃO MONTE UM ÁTOMO: CONSTRUIR UM ÁTOMO

**Etapa 1** – Acessar a simulação pelo link: [https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_pt_BR.html);

**Etapa 2** – Clicar na aba “Construir Átomo”;



Figura 16 - Simulação Monte um Átomo - tela inicial

Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3IQLO6c>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 3** – Na tela seguinte, apresentar os elementos da simulação: o local onde será construído o átomo; a região que contabiliza a quantidade de prótons, nêutrons e elétrons; a região que contém uma tabela periódica apresenta o nuclídeo do átomo que será montado; a região que aponta a carga resultante; a região que apresenta o número de massa do nuclídeo; as opções de ver elemento, ver neutro/íon e ver estável /instável; os baldes de prótons, nêutrons e elétrons.

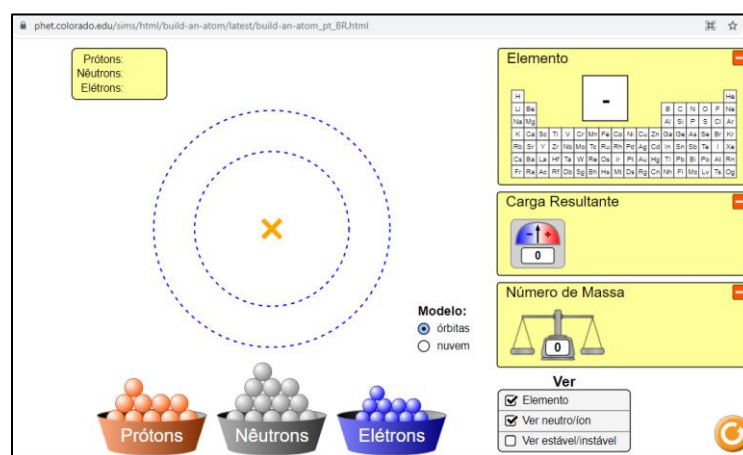


Figura 17 - Simulação Monte um Átomo – Construir um átomo



Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3IQLO6c>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 4** – No balde de prótons, clique num próton e arraste até a região central onde o átomo será montado. Neste momento pode deixar a aba “ver estável/instável” desmarcada. Peça para os alunos observarem e relatarem o que acontece nas abas: “Elemento”, “Carga Resultante” e “Número de Massa”.

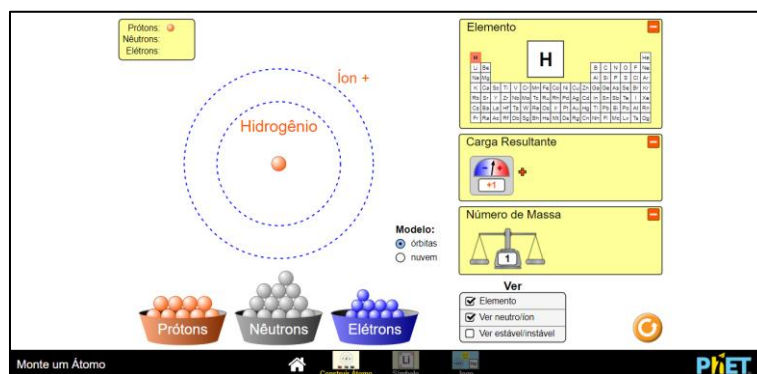


Figura 18 - Simulação Monte um Átomo – Nuclídeo  $^1\text{H}$ .

Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3IQLO6c>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 5** – Acrescente um nêutron ao núcleo (no balde de nêutrons, clique num nêutron e arraste até a região central onde o átomo será montado. Peça para os alunos observarem se ocorreu alguma mudança nas abas: “Elemento”, “Carga Resultante” e “Número de Massa”.

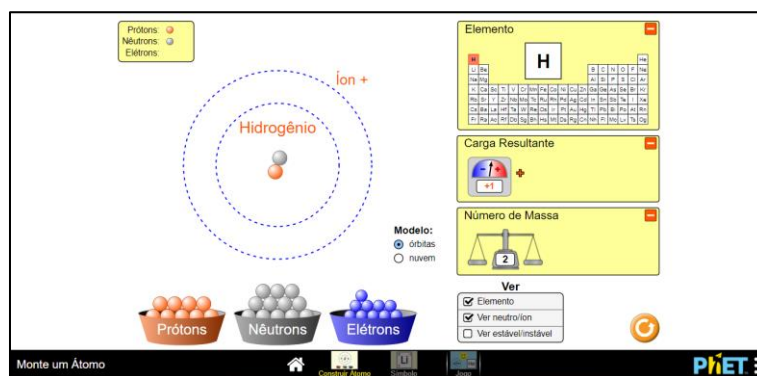


Figura 19 - Simulação Monte um Átomo – Nuclídeo  $^2\text{H}$ .

Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3IQLO6c>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

Etapa 6 – mantenha o que já foi feito, e repita as etapas 4 e 5, questionando os alunos sobre as alterações nas abas: “Elemento”, “Carga Resultante” e “Número de Massa”.

Etapa 7 – repita esse processo até esvaziar os baldes de prótons e nêutrons.

**Questões:**

- 1- O que acontece com elemento quando aumentamos a quantidade de prótons no núcleo?
- 2- O que acontecia com elemento químico (alterava ou não) ao adicionar nêutrons ao núcleo (etapas 3 e 5)?
- 3- O que acontecia com o número de massa quando adicionávamos 1 próton ao núcleo (aumentava ou diminuía, e em quantas unidades)?
- 4- O que acontecia com o número de massa quando adicionávamos 1 nêutrons ao núcleo (aumentava ou diminuía, e em quantas unidades)?
- 5- É possível ter um mesmo elemento com quantidades diferentes de prótons no núcleo?
- 6- Qual a relação entre o elemento químico e a quantidade de prótons no núcleo?

## A.2 SIMULAÇÃO MONTE UM ÁTOMO: ISÓTOPOS

**Etapa 1** – monte um núcleo de hidrogênio-1, em seguida um de hidrogênio-2 (deutério) e por fim um de hidrogênio-3 (trítio). Em cada montagem, peça para os alunos relatarem o que aconteceu com o número de prótons e de nêutrons, e na aba “elemento” e na aba “número de massa” se houve alguma alteração.

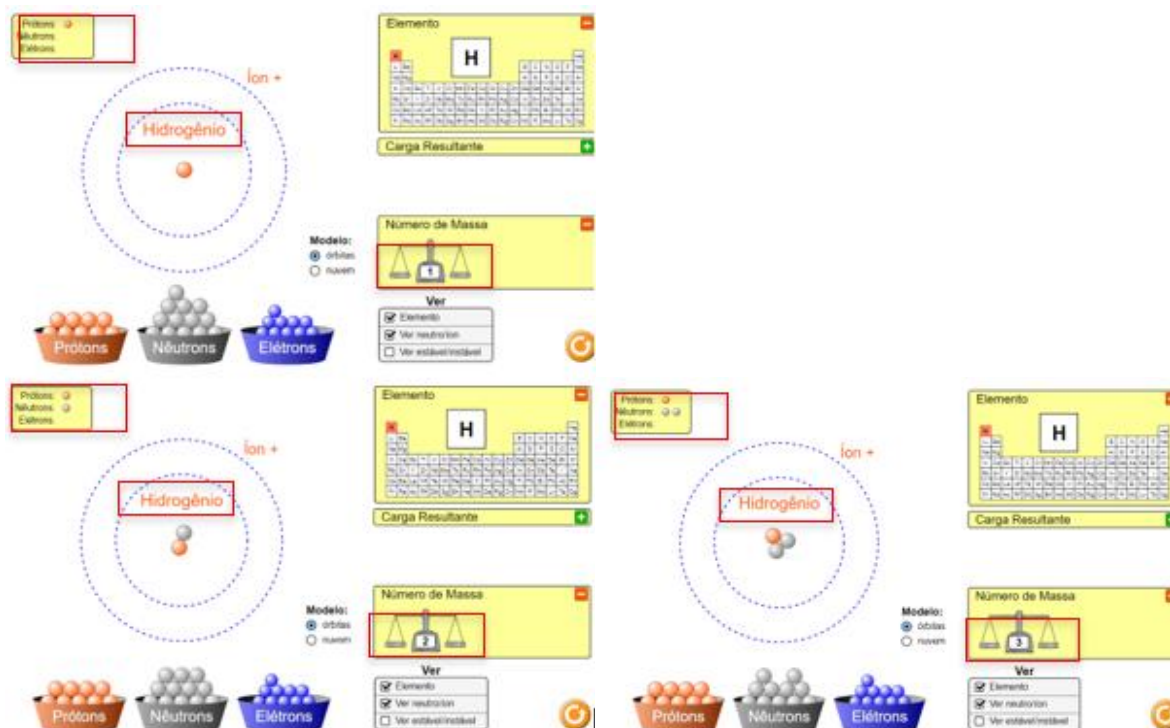


Figura 20 - Simulação Monte um Átomo – Isótopos do hidrogênio: Hidrogênio-1, deutério e trítio.  
 Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3IQL06c>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

Etapa 2 – Monte um núcleo de carbono-12, carbono-13 e carbono-14, adicionando 6 prótons e 6, 7 e 8 nêutrons respectivamente. Em cada montagem, peça para os alunos relatarem o que aconteceu com o número de prótons e nêutrons, e na aba “elemento” e na aba “número de massa” se houve alguma alteração.

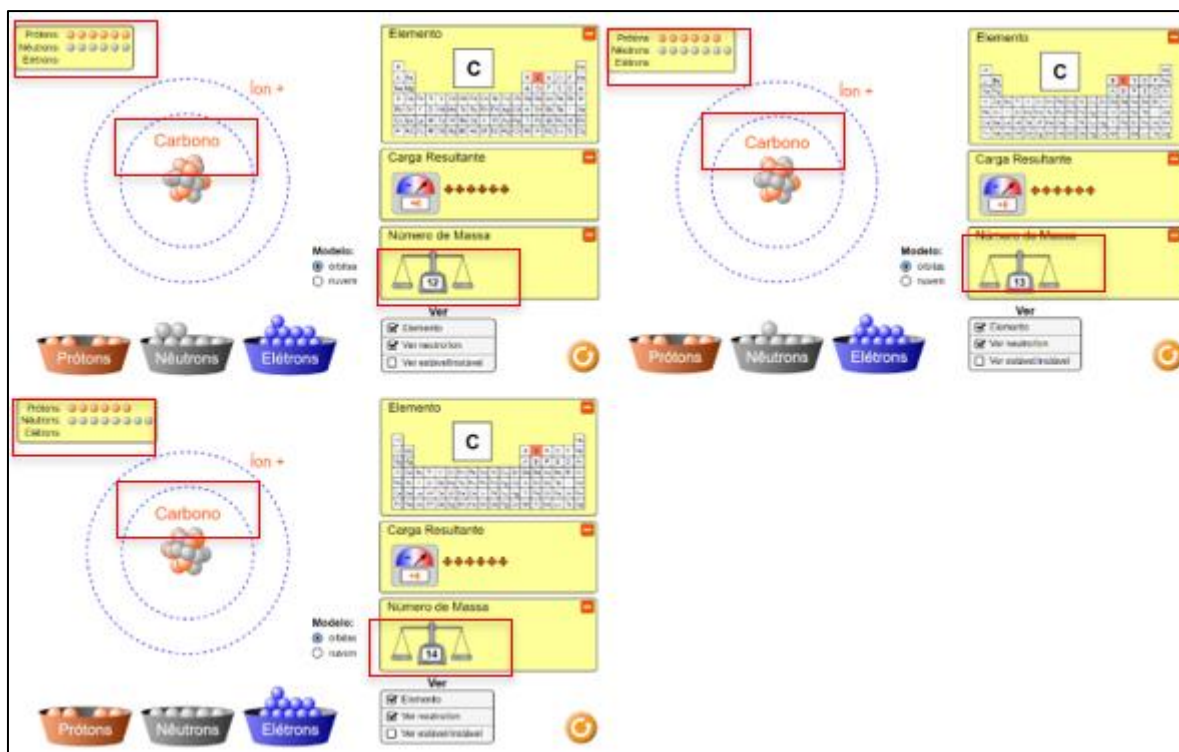


Figura 21 Simulação Monte um Átomo – Isótopos do carbono: carbono-12, carbono-13 e carbono-14.  
Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3IQLO6c>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

Explique para os alunos que isótopos são o mesmo elemento químico, com de massa diferentes, e o que provoca essa alteração nas massas é a quantidade de nêutrons.

### Questões:

- 7- De acordo com essa simulação, explique o que é um elemento isótopo?
- 8- Qual a diferença percebida entre o Hidrogênio-1, Hidrogênio-2 e Hidrogênio-3?
- 9- Qual a diferença percebida entre o Carbono-12, Carbono-13 e Carbono-14?

## A.3 SIMULAÇÃO MONTE UM ÁTOMO: NÚCLEO ESTÁVEL/INSTÁVEL

**Etapa 1** – Repita o que foi feito na simulação “Isótopos”, mas com a aba “ver estável/instável” marcada.

Figure 22 shows a simulation interface for building atoms. It displays six isotopes in a 3x2 grid. Each isotope is represented by a Bohr model, a particle count interface (Protons, Neutrons, Electrons), a periodic table, a mass number scale, and a stability check interface. The isotopes are: Hydrogen-1 (Estável), Hydrogen-2 (Estável), Hydrogen-3 (Instável), Carbon-12 (Estável), Carbon-13 (Estável), and Carbon-14 (Instável).

Figura 22 - Simulação Monte um Átomo – Isótopos estáveis/instáveis.  
 Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3IQLO6c>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

Peça para os alunos marcarem se o elemento em questão é estável ou instável:

- Hidrogênio-1: ( ) estável ( ) instável
- Hidrogênio-2: ( ) estável ( ) instável
- Hidrogênio-3: ( ) estável ( ) instável
- Carbono-12: ( ) estável ( ) instável
- Carbono-13: ( ) estável ( ) instável
- Carbono-14: ( ) estável ( ) instável

### Questões:

Julgue as afirmativas marcando V se a afirmativa é verdadeira ou F se for falsa.

10 - ( ) Para um mesmo elemento pode haver isótopos estáveis e instáveis.

11 - ( ) Um núcleo instável é um núcleo radioativo.

12 - ( ) A quantidade de nêutrons no núcleo influencia a sua estabilidade.

13 - ( ) A quantidade de isótopos instáveis é maior que a de estáveis.

#### A.4 SIMULAÇÃO FISSÃO NUCLEAR (3.27): FISSÃO DE UM NÚCLEO

**Etapa 1** - Clicar na aba “Fissão: um núcleo”;

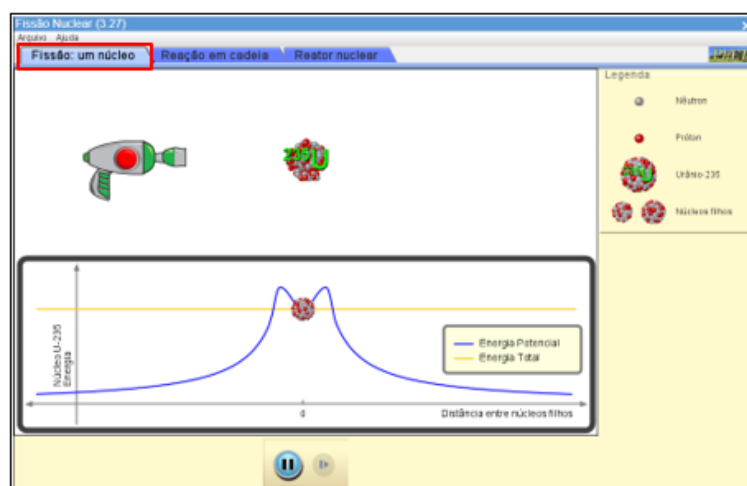


Figura 23 - Simulação Fissão Nuclear – Fissão de um núcleo de  $^{235}\text{U}$ .  
Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

Apresentar os elementos da simulação: pistola que dispara nêutrons; um núcleo de urânio-235 (92 prótons e 143 nêutrons); nêutrons como sendo a pequena esfera na cor cinza e os prótons como sendo a pequena esfera na cor vermelha; e um gráfico da energia em função da distância entre os núcleos.

Realizar o disparo de um nêutron em direção ao núcleo e pedir para os alunos observarem e relatarem o que aconteceu.

**Etapa 2** - Clicar na aba “Reação em cadeia”;

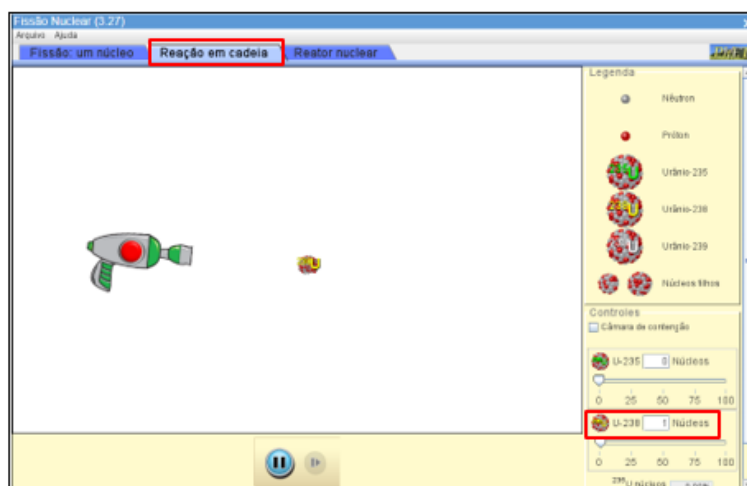


Figura 24 - Simulação Fissão Nuclear – Fissão de um núcleo de  $^{238}\text{U}$ .  
 Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

Nesta simulação iremos adicionar apenas um núcleo de urânio-238 (92 prótons e 146 nêutrons) e realizar o disparo de um nêutron em direção ao núcleo e pedir para os alunos observarem e relatarem o que aconteceu.

### Questões:

- 1- O núcleo de urânio-235 teve o mesmo comportamento que o núcleo de urânio-238 ao capturar um nêutron? Caso não, o que teve de diferente?
- 2- Quando o núcleo de urânio-235 captura o nêutron, aumenta a quantidade de nêutrons no núcleo, e ele passa a ser o urânio-236 (92 prótons e 144 nêutrons). Logo após essa captura, o núcleo ganha mais estabilidade ou fica mais instável (agitado)? Observando o gráfico, o que ocorreu com a energia total do sistema após essa captura do nêutron?
- 3- No momento exato momento em que ocorre a fissão (quebra do núcleo), é possível perceber um círculo (tipo uma luz) que parte do núcleo e se espalha pelo espaço. O que esse círculo representa?

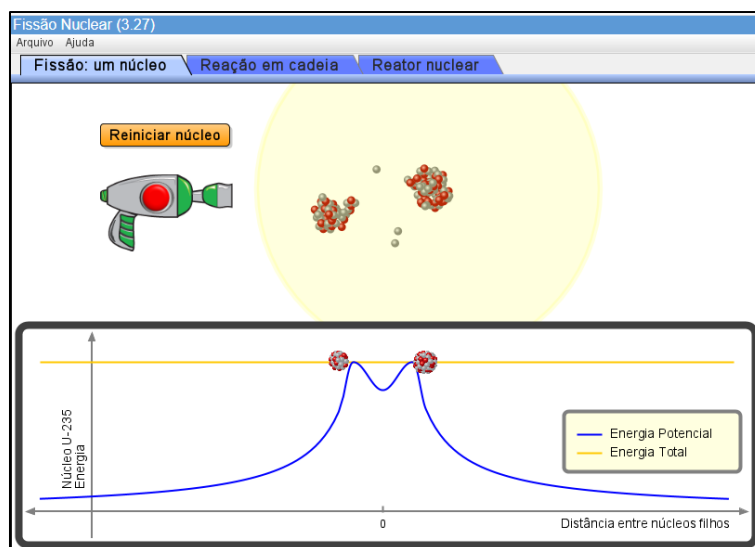


Figura 25 - Simulação Fissão Nuclear – Momento em que o núcleo de  $^{235}\text{U}$  fissiona.  
 Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

- 4- Quais são os produtos da fissão nuclear?
- 5- Os núcleos filhos são núcleos de urânio, ou de outro elemento? Explique.

Espera-se que os alunos percebam que o urânio-235 é físsil, sofrendo fissão ao capturar o nêutron e o urânio-238 é fissionável e não sofre a fissão ao capturar o nêutron, e que a esfera de luz vista no momento em que ocorre a fissão é a representação da liberação de energia decorrente da fissão, e que os produtos da fissão são os núcleos filhos (que não são urânio) e nêutrons livres.

É importante explicar para os alunos que o urânio-238 também pode sofrer fissão quando bombardeado por nêutrons de elevada energia cinética (da ordem de 1 Mev).

#### A.5 SIMULAÇÃO FISSÃO NUCLEAR (3.27): REAÇÃO EM CADEIA

Demonstrar novamente a etapa 1 da simulação “fissão de um núcleo”, onde ao disparar um nêutron contra um núcleo de urânio-235, este fica instável e se parte, liberando energia e alguns nêutrons. Questionar os alunos sobre o que aconteceria se ao invés de um núcleo fossem utilizados vários núcleos de urânio-235.

**Etapa 1** – Clicar na aba “Reação em cadeia”;

**Etapa 2** – Adicionar 100 núcleos de  $^{235}\text{U}$ ;

**Etapa 3** – Disparar nêutron com a pistola;

**Etapa 4** – Observar e relatar o que aconteceu.

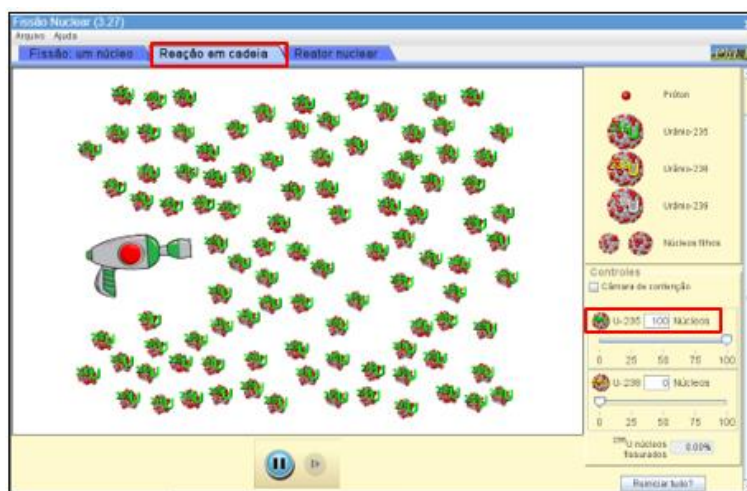


Figura 26 - Simulação Fissão Nuclear – Reação de fissão nuclear em cadeia.  
 Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Atividade 1** – Defina a quantidade inicial de núcleos de U-235 e U-238 e preencha a tabela abaixo

	Núcleos de U-235	Núcleos de U-238	% de U-235 fissionados depois de 1 disparo	Quantidade de disparos necessários para fissionar todos os núcleos de U-235
1)	100	0		
2)	70	30		
3)	50	50		
4)	30	70		
5)	0	100		
6)	25	0		
7)	10	0		

**Questões:**

- 1- Por que os nêutrons livres emitidos pelo U-235 na fissão nuclear são importantes para criar uma reação em cadeia? Sem eles teria como ter uma reação em cadeia autossustentada?
- 2- O que ocorre com a reação quando a proporção de núcleos U-238 aumenta?
- 3- Ao realizar a simulação com apenas 25 e 10 núcleos de U-235, ocorreu a reação em cadeia autossustentada? Por qual motivo ocorreu ou não?
- 4- Explique com suas palavras como ocorre a reação em cadeia.



## A.6 SIMULAÇÃO FISSÃO NUCLEAR (3.27): REATOR NUCLEAR

Utilizar a aba “Reator nuclear” para verificar a função das hastes de controle em um reator de fissão nuclear.

**Etapa 1** – Clicar na aba “Reator nuclear”;

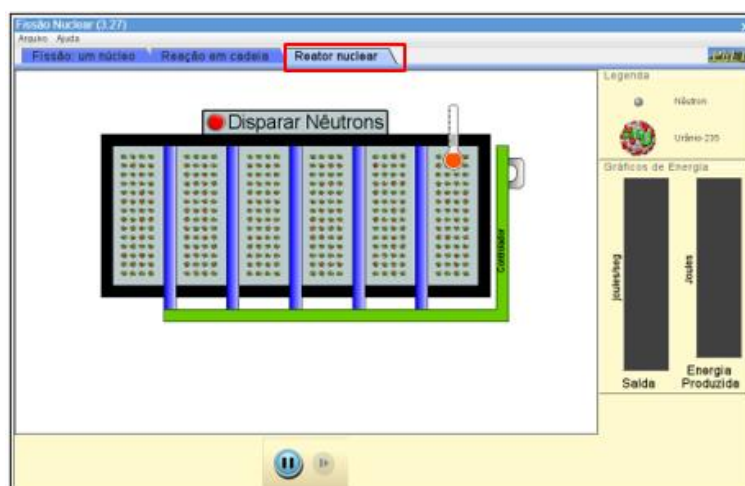


Figura 27 - Simulação Fissão Nuclear – Reator nuclear.

Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 2** – Descrever para os alunos os elementos da simulação: o reator nuclear composto por pastilhas de urânio-235 em seu interior, o controlador (hastes de controle), e um termômetro; as legendas e os gráficos de energia;

**Etapa 3** – Com as hastes de controle fechadas, disparar um nêutron e pedir para os alunos observarem e relatarem o que aconteceu (observar também o que ocorre com o termômetro);

**Etapa 4** - Com as hastes de controle totalmente abertas, disparar um nêutron e pedir para os alunos observarem e relatarem o que aconteceu;

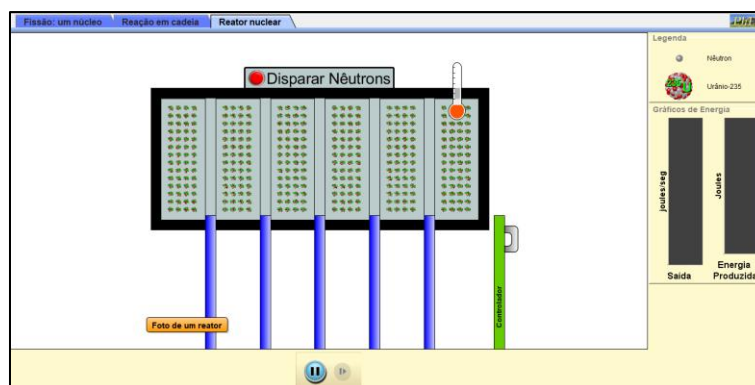


Figura 28 - Simulação Fissão Nuclear – Reator nuclear: hastes de controle abertas.  
 Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 5** - Com as hastes de controle de início totalmente abertas, disparar um nêutron e durante a reação em cadeia, fechar as hastes de controle e pedir para os alunos observarem e relatarem o que aconteceu;

**Questões:**

- 1- O que ocorre com a temperatura no interior do reator nuclear conforme os núcleos de U-235 vão sendo fissionados?
- 2- Como é possível gerar energia elétrica numa usina de fissão nuclear?
- 3- Qual a função das hastes de controle num reator de fissão nuclear?
- 4- Existem usinas nucleares que usam uma proporção de 3% de U-235 e 97% de U-238. Com essa proporção, é possível gerar uma reação em cadeia autossustentada?

**A.7 SIMULAÇÃO FISSÃO NUCLEAR (3.27): BOMBA ATÔMICA**

Utilizar a aba “Reação em cadeia” para projetar uma bomba atômica.

O urânio é um metal relativamente abundante na natureza, porém cerca de 99,3% é de U-238 e apenas cerca de 0,7% de U-235.

Para construção de uma bomba atômica é necessária uma concentração de 90% de U-235, com uma massa crítica de 52 kg.

**Primeira parte:**

**Etapa 1** – Clicar na aba “Reação em cadeia”;

**Etapa 2** – Marcar a opção “câmara de contenção”;

**Etapa 3** – Adicionar 48 núcleos de U-235;

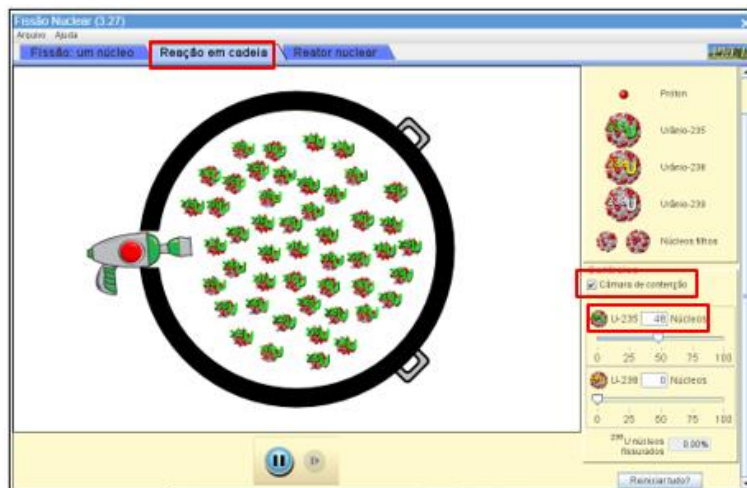


Figura 29 - Simulação Fissão Nuclear – Bomba nuclear: tentativa 1.  
Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 4** – Disparar um nêutron e pedir para os alunos observarem e relatarem o que aconteceu;

**Segunda parte:**

**Etapa 1** – Puxar alça da câmara de contenção, aumentando-a;

**Etapa 2** – Adicionar 57 núcleos de U-235;

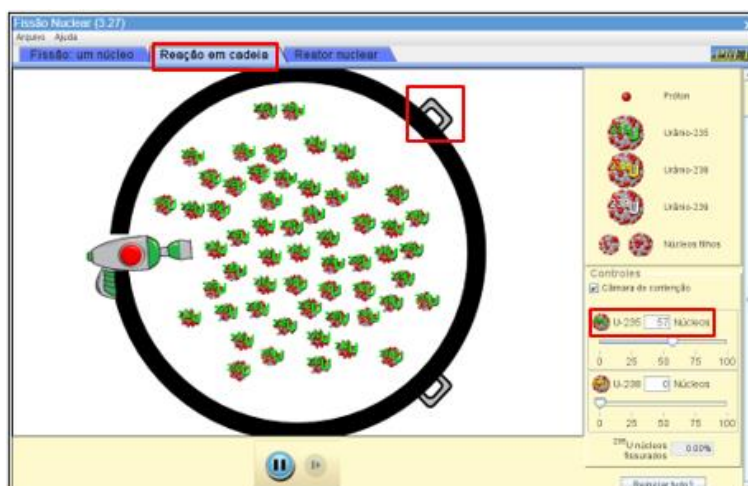


Figura 30 - Simulação Fissão Nuclear – Bomba nuclear: tentativa 2.  
Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/3G955yf>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 3** – Disparar um nêutron e pedir para os alunos observarem e relatarem o que aconteceu;

**Questões:**

- 1- Qual a necessidade de enriquecimento de urânio para a produção de energia e para construção de armas nucleares?
- 2- Pesquise como ocorre o processo de enriquecimento de urânio.

- 3- Por que quando um país passa a enriquecer urânio em concentrações acima dos acordos internacionais causa preocupação para a comunidade internacional?
- 4- O que foi feito de diferente para na segunda parte da simulação para a gente criar uma bomba atômica, e na primeira parte não?

#### A.8 SIMULAÇÃO DECAIMENTO ALFA (3.27): ÚNICO ÁTOMO

Abrir a simulação “Decaimento Alfa (3.27)”.

**Etapa 1** – Clicar na aba “Único átomo”;

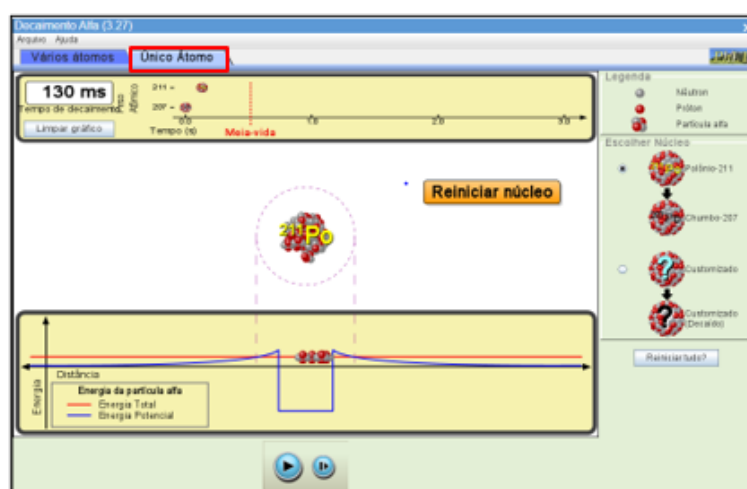


Figura 31 - Simulação Decaimento Alfa – Único átomo de  $^{211}\text{Po}$ .

Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3ucSEyM>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 2** – Descrever para os alunos os elementos da simulação: o núcleo de Polônio-211 no centro; o gráfico da energia pela distância na parte de baixo; a legenda no canto superior direito; no lado direito a opção de escolher o núcleo de polônio-211 ou um núcleo customizado; a janela superior mostra o tempo de decaimento e uma linha do tempo que computa o momento em que o núcleo do átomo decai e vem marcando de vermelho o tempo de meia vida do elemento.

**Etapa 3** – Esperar o Po-211 decair para Pb-207 e pedir que os alunos observem e relatem o que aconteceu e anotem o tempo de decaimento;

**Etapa 4** – Clicar em “Reiniciar núcleo” e repetir a etapa 3 por 10 vezes. (Em uma dessas repetições, tente pausar a simulação no momento exato em que a partícula alfa é emitida e peça para os alunos contarem a quantidade de prótons e nêutrons que ela tem).

**Questões:**

- 1- Quando o Po-211 decai para Pb-207 o que acontece com a massa do núcleo?
- 2- Utilizando uma tabela periódica, confira em quantas unidades o número atômico (número de prótons) aumentou ou diminuiu nesse decaimento.
- 3- Utilizando as respostas das questões 1 e 2, podemos considerar que a partícula alfa seja o núcleo de um elemento químico. Qual elemento é esse?
- 4- Tente montar uma equação para o decaimento do polônio.
- 5- Aproximadamente, quanto tempo é a meia vida de um núcleo de Po-211?
- 6- Por que quando um núcleo sofre decaimento alfa ele se transforma em outro elemento?
- 7- É possível prever quando a partícula alfa de um único átomo será emitida?

#### A.9 SIMULAÇÃO DECAIMENTO A (3.27): VÁRIOS ÁTOMOS

Abrir a simulação “Decaimento Alfa (3.27)”.

**Etapa 1** – Clicar na aba “Vários átomos”;

**Etapa 2** – apresentar os elementos da simulação para os alunos: tem um balde de átomos onde podemos adicionar até 99 átomos à simulação (pode ser adicionado de 1 em 1, ou de 10 em 10 átomos); na janela superior, junto com a linha do tempo, tem um gráfico de pizza representando o decaimento dos átomos (os que ainda não decaíram em azul e os que já decaíram em preto no gráfico);

**Etapa 3** – Clique em “Customizado”, em seguida clique no botão “pausa”, mude a meia-vida para 1 segundo e adicione todos os átomos do balde;

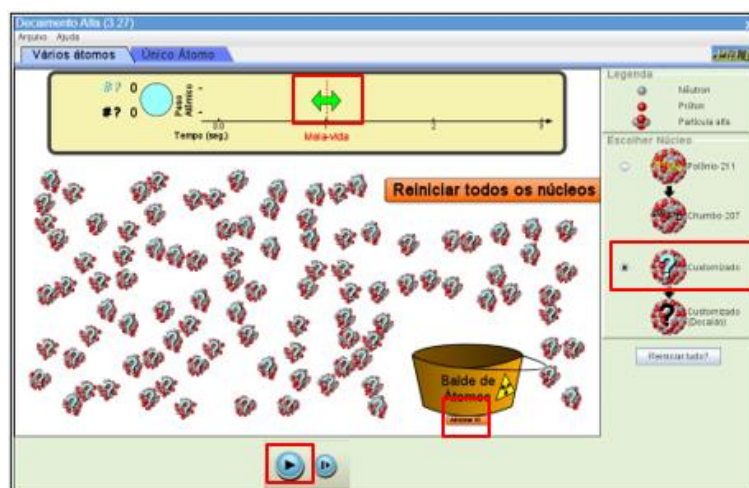


Figura 32 - Simulação Decaimento Alfa – Núcleo customizado: vários átomos. Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3ucSEyM>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

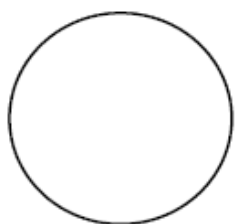
**Etapa 4** – Clique no botão “iniciar” (o mesmo que foi utilizado para pausar), e peça para os alunos observarem a quantidade de núcleos que decaíram com tempo 1 s, 2 s e 3 s;

**Etapa 5** – Repita essa simulação por 5 vezes.

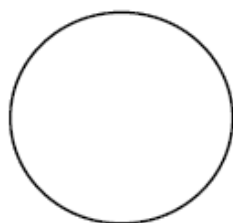
**Questões:**

- 1- Represente (colorindo o gráfico) a quantidade de núcleos que ainda não tinham decaído em cada um dos instantes a seguir:

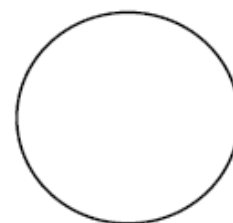
a)  $t = 1 \text{ s}$



b)  $t = 2 \text{ s}$



c)  $t = 3 \text{ s}$



- 2- Sabendo que a meia-vida do átomo customizado é de 1 segundo, responda:
- Quantos átomos ainda não tinha decaído após 1 segundo (responda em forma de fração)?
  - Quantos átomos ainda não tinha decaído após 2 segundos (responda em forma de fração)?
  - Quantos átomos ainda não tinha decaído após 3 segundos (responda em forma de fração)?
  - Você consegue prever quantos átomos faltarão decair após 4 segundos (responda em forma de fração)? E após 6 segundos?
  - Tente montar uma equação para calcular a quantidade de átomos que sobram após “n” decaimentos.
- 3- Com suas palavras, descreva o que significa meia-vida.
- 4- Inicialmente tem-se uma amostra com 100 átomos de polônio-211. Considerando a meia-vida do polônio-211 como sendo 0,5 segundos, quantos átomos de Po-211 sobrarão após ter decorrido 2 segundos?

A.10 SIMULAÇÃO DECAIMENTO BETA (3.27): ÚNICO ÁTOMO

Abrir a simulação “Decaimento Beta (3.27)”.

**Etapa 1** – Clicar na aba “Único átomo”;

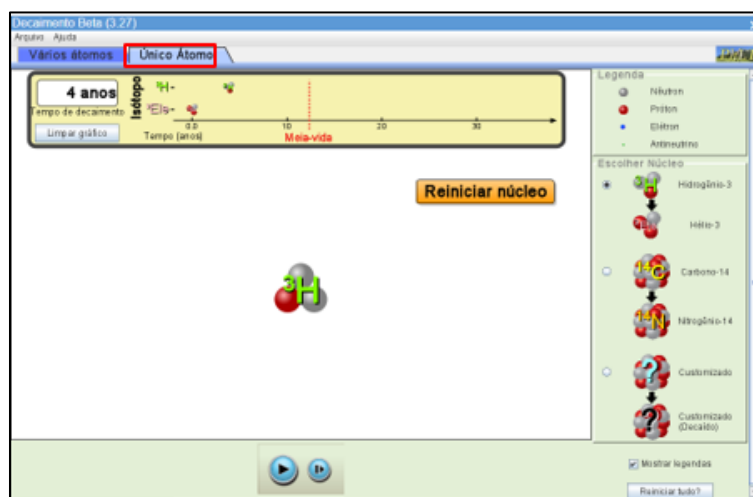


Figura 33 - Simulação Decaimento Beta – Único átomo de  ${}^3\text{H}$ .

Fonte: Disponível em: < <https://bit.ly/3KVaxhU>>. Acesso em 20 de dez. 2021.

**Etapa 2** – Descrever para os alunos os elementos da simulação: o núcleo de Hidrogênio-3 no centro (ou Carbono-14); a legenda no canto superior direito; no lado direito a opção de escolher o núcleo de hidrogênio-3, carbono-14 ou um núcleo customizado; a janela superior mostra o tempo de decaimento e uma linha do tempo que computa o momento em que o núcleo do átomo decai e vem marcando de vermelho o tempo de meia vida do elemento.

**Etapa 3** – Esperar o H-3 decair para He-3 e pedir que os alunos observem e relatem o que aconteceu e anotem o tempo de decaimento;

**Etapa 4** – Clicar em “Reiniciar núcleo” e repetir a etapa 3 por 10 vezes. (Em uma dessas repetições, tente pausar a simulação no momento exato em que a partícula alfa é emitida e peça para os alunos contarem a quantidade de prótons e nêutrons que ela tem).

### Questões:

- 1- Quando o H-3 decai para He-3 o que acontece com a massa do núcleo?
- 2- Utilizando uma tabela periódica, confira em quantas unidades o número atômico (número de prótons) aumentou ou diminuiu nesse decaimento.
- 3- Explique o que é a partícula beta.
- 4- Tente montar uma equação para o decaimento do Hidrogênio-03.
- 5- Aproximadamente, quanto tempo é a meia vida de um núcleo de H-3? O que isso significa?
- 6- Por que quando um núcleo sofre decaimento beta ele se transforma em outro elemento?

- 7- É possível prever quando a partícula beta de um único átomo será emitida?
- 8- Pesquise: como é possível o núcleo atômico emitir um elétron?



**APÊNDICE .B            QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO**

1) Você considera a radioatividade como:

Maléfica.  Benéfica.  Maléfica e Benéfica.  Não tenho opinião formada sobre isso.

2) Radiação e radioatividade são a mesma coisa.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

3) A radioatividade é algo muito nocivo para a saúde.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

4) Ao deixar um corpo exposto à radiação, este ficará contaminado radioativamente.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

5) Ao tirar radiografia para verificar uma fratura óssea deve-se utilizar proteção para não haver contaminação com resíduos nucleares radioativos provenientes dos raios X.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente

6) A energia nuclear é algo muito perigoso.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;

- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

7) O processo de geração de energia nuclear implica em maior impacto ambiental do que o processo de geração de energia hídrica.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

8) A produção de energia nuclear significa um risco muito grande para o país. Portanto deve-se deixar de investir nessa matriz energética.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

9) Em caso de um acidente nuclear uma usina nuclear pode se transformar em uma bomba atômica.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

10) A radioatividade pode ser aplicada à agricultura. Uma aplicação é a irradiação de alimentos, que consiste em expor a uma dose controlada de radiação ionizante alimentos destruindo microrganismos, bactérias, vírus ou insetos presentes nos alimentos, aumentando o tempo para consumo do alimento. Você consumiria algum alimento que foi irradiado?

- Certamente consumiria;
- Consumiria;
- Talvez consumiria;
- Não consumiria;
- Certamente não consumiria.

11) O Sol é uma bola de fogo que queima infinitamente. Essa é a origem da energia do Sol e o motivo do Sol aquecer a Terra.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

12) Um elemento químico jamais pode se transformar em outro elemento químico.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

13) Fusão nuclear consiste no derretimento do núcleo.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

14) Toda radiação é capaz de ionizar um átomo.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

15) O núcleo atômico é formado por nêutrons e prótons, e a quantidade de prótons existentes no núcleo é distinta para cada elemento químico.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

16) Uma substância radioativa jamais deixa de ser radioativa.

- Concordo totalmente;

- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

17) Como o nêutron não tem carga elétrica, ele não tem função nenhuma no núcleo atômico.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

18) Se um nuclídeo é instável, todos os seus isótopos também serão instáveis.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

19) Um núcleo radioativo emite radiação nas formas de partículas alfa e beta e radiação gama para ficarem mais estáveis.

- Concordo totalmente;
- Concordo parcialmente;
- Indiferente;
- Discordo parcialmente;
- Discordo totalmente.

**APÊNDICE .C      QUESTIONÁRIO TEMA 02:**

- 1) O que diferenciava os raios-X dos raios becqueréis?
- 2) Qual o motivo de parte dos raios emitidos pelos sais de urânio serem defletidos na presença de um campo elétrico? Porque estes raios descarregavam o eletroscópio?
- 3) Qual a principal inovação trazida pelo modelo atômico de Rutherford?
- 4) Afinal, o que é a radioatividade?
- 5) A radiação emitida pelo núcleo tem natureza ondulatória ou corpuscular? Explique.