

**COLÉGIO PEDRO II**

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA,  
EXTENSÃO E CULTURA**

**ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA NA  
EDUCAÇÃO BÁSICA**

**ERISVALDO DE SOUZA ALENCAR**

**DESCONSTRUINDO ESTEREÓTIPOS:**

Uma Sequência Didática sobre o uso da Energia Nuclear

Rio de Janeiro  
2025



**ERISVALDO DE SOUZA ALENCAR**

**DESCONSTRUINDO ESTEREÓTIPOS:**  
Uma Sequência Didática sobre o uso da Energia Nuclear

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Física na Educação Básica, vinculado à Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de Física na Educação Básica.

Orientador Professor Dr. José Eduardo Pereira da Rosa.

Rio de Janeiro

2025

**COLÉGIO PEDRO II**

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E CULTURA**

**BIBLIOTECA PROFESSORA SILVIA BECHER**

**CATALOGAÇÃO NA FONTE**

A368 Alencar, Erisvaldo de Souza

Desconstruindo estereótipos : uma sequência didática sobre o uso da energia nuclear / Erisvaldo de Souza Alencar. - Rio de Janeiro, 2025.

61 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física na Educação Básica) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura.

Orientador: José Eduardo Pereira da Rosa.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Sequência didática. 3. Ciência, tecnologia e sociedade. 4. Técnica da controvérsia controlada. 5. Energia nuclear. I. Rosa, José Eduardo Pereira da. II. Colégio Pedro II. III Título.

CDD 530

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Simone Alves – CRB7 5692.

**ERISVALDO DE SOUZA ALENCAR**

**DESCONSTRUINDO ESTEREÓTIPOS:**  
Uma Sequência Didática sobre o uso da Energia Nuclear

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Física na Educação Básica, vinculado à Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de Física na Educação Básica.

Aprovado em: 11 / 06 / 2025.

---

Dr. José Eduardo Pereira da Rosa  
Colégio Pedro II

---

Me. Eduardo Couto de Lima  
Colégio Pedro II

---

Dra. Suelen Pestana Cardoso  
Cefet - RJ

“Pois a luz da ciência que eu derramo sobre todos é como a luz da manhã, e de longe eu a torno conhecida. Penetrai em todas as profundezas da Terra, visitarei todos aqueles que dormem, e alumiarei todos os que confiam no Senhor.”

(Eclesiástico 24, 44-45, séc. X a.C)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir viver a experiência de trabalhar na área que tanto amo. À minha família, pelo apoio constante; à minha namorada, Maria Luiza, pela paciência e compreensão; à minha amiga de longa data, Ana Paula, por ter me apresentado o curso; e ao professor José Eduardo, por sua excelência como docente e orientador. Por fim, expresso minha gratidão ao Colégio Pedro II e aos professores pela oportunidade e pelo apoio oferecidos ao longo dessa jornada.

*É um fato importante, e conhecido por todos, que as coisas nem sempre são o que parecem ser.*

*(Douglas Adams em O Guia do Mochileiro das Galáxias (1978))*

## RESUMO

ALENCAR, Erisvaldo de Souza. **Desconstruindo estereótipos**: Uma Sequência Didática sobre o uso da Energia Nuclear. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física na Educação Básica) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Rio de Janeiro, 2024.

Este trabalho propõe uma Sequência Didática (SD) voltada para o ensino sobre o uso da energia nuclear, buscando desconstruir estereótipos e promover debates informados. A SD aqui desenvolvida utiliza enfoques CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) e a técnica da Controvérsia Controlada, com o objetivo de estimular nos alunos uma compreensão crítica dos benefícios e riscos da energia nuclear. Ao longo de cinco semanas, os alunos participarão de debates, assistirão a vídeos com visões antagônicas e terão aulas teóricas sobre o tema, com o intuito de desconstruir visões estereotipadas e desenvolver o pensamento crítico. A proposta visa não apenas ensinar sobre energia nuclear, mas também formar cidadãos mais conscientes e críticos, capacitados a analisar questões complexas de maneira equilibrada.

**Palavras-chave:** sequência didática; CTS; controvérsia controlada; energia nuclear.

## ABSTRACT

ALENCAR, Erisvaldo de Souza. **Deconstructing stereotypes: A Didactic Sequence on the use of Nuclear Energy.** 2025. Course Completion Work (Specialization in Teaching Physics in Basic Education) – Colégio Pedro II, Dean of Postgraduate Studies, Research, Extension and Culture, Rio de Janeiro, 2025.

This paper proposes a Didactic Sequence (DS) aimed at teaching about the use of nuclear energy, seeking to deconstruct stereotypes and promote informed debates. The DS developed here uses STS (Science-Technology-Society) approaches and the Controlled Controversy technique, with the aim of encouraging students to have a critical understanding of the benefits and risks of nuclear energy. Over the course of five weeks, students will participate in debates, watch videos with opposing views and take theoretical classes on the topic, with the aim of deconstructing stereotypical views and developing critical thinking. The proposal aims not only to teach about nuclear energy, but also to form more aware and critical citizens, capable of analyzing complex issues in a balanced way.

**Keywords:** didactic sequence; STS; controlled controversy; nuclear energy.

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – aspectos presentes nas CTS.....	19
<b>Quadro 2</b> – pontos para estabelecer uma controvérsia controlada.....	22
<b>Quadro 3</b> – fases para criação de um debate.....	23
<b>Quadro 4</b> – passos para criação do debate.....	31
<b>Quadro 5</b> – passos para execução do debate proposto.....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>PRESSUPOSTOS TEÓRICOS</b>	<b>17</b>
4.1	Sequência Didática	17
4.2	Enfoques CTS	18
4.3	Controvérsia Controlada	21
4.4	O Debate	22
4.5	Avaliação Final	25
<b>5</b>	<b>PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>27</b>
5.1	Primeiro Encontro - O questionário e os documentários	27
5.2	As aulas teóricas	28
5.3	Aprofundamento teórico	30
5.4	Organização do debate	30
5.5	Aplicação da Avaliação Final	32
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>36</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL</b>	<b>40</b>
	<b>APÊNDICE B – PLANOS DAS AULAS TEÓRICAS</b>	<b>42</b>
	<b>APÊNDICE C – GUIA CONCEITUAL DAS AULAS TEÓRICAS</b>	<b>45</b>
	<b>APÊNDICE D – AVALIAÇÃO FINAL</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O termo estereótipo foi cunhado por Lippmann (1922) no livro “Opinião Pública”, onde o autor cita que os estereótipos seriam espécies de “quadros mentais” que geram imagens indispensáveis para fazer frente à grande quantidade de informação a qual o ser humano está exposto (Campos *et al.*, 2021). Segundo Lippmann (1922), os estereótipos constituem o traço primordial que precede a razão, impondo características prévias para as informações, ou seja, a percepção inicial que se tem sobre um tema tende a ocorrer de forma automática e inconsciente, e após um primeiro contato com essa informação, a inteligência e o raciocínio crítico podem tentar corrigir esses primeiros julgamentos.

Fortalecido pelos estereótipos e aliando-se, por vezes, à ignorância, existem diversas áreas do conhecimento que incitam debates. A grande maioria desses debates são válidos, no entanto, muitos se originam da junção dos estereótipos com a falta de conhecimento sobre o tema discutido, e é nesse contexto, portanto, que surgem as Controvérsias Sociocientíficas (CSC). De acordo com Reis (2013), as CSC são questões suscitadas por interações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente que dividem a opinião das pessoas e que, em resumo, não conduzem a uma solução simples.

Existem diversos temas que se encaixam nas CSC, mas neste trabalho será abordado com maior profundidade o uso da energia nuclear produzida através da fissão de átomos. Por mais que um indivíduo possa não ter conhecimento técnico a respeito de como é produzida a energia nuclear, existe a grande probabilidade que de alguma maneira ele já tenha sido impactado pelo tema. Obras da cultura popular como *Oppenheimer* (2023) e *Túmulo dos Vagalumes* (1988), são dois de vários filmes que fizeram sucesso e que tratam, com algumas ressalvas, sobre as explosões ocasionadas por artefatos nucleares.

Essas obras, em diferentes períodos históricos, mostram como a energia nuclear pode ser usada para criar armas de destruição em massa, e isso reforça os estereótipos. A mídia tem grande participação nessa imagem, pois, como Azevedo (2001) relembra, a televisão foi um meio que influenciou muito a opinião pública norte-americana negativamente durante a guerra do Vietnã, na década de 60. Por conseguinte, grandes produções estadunidenses trabalharam esse tema durante todo o período da Guerra Fria e o medo do holocausto nuclear existia, e teve seu ápice na Crise dos Mísseis em 1962, que como aponta Monteiro (2017), foi o momento mais tenso entre os EUA e a URSS.

Durante o auge da Guerra Fria, o governo norte-americano novamente fez uso da mídia para enobrecer seus atos a respeito do porquê eles deveriam ter um grande arsenal nuclear. Tudo durante a Guerra Fria girava em torno de mostrar soberania sobre o outro, e foi assim que surgiu um dos grandes discursos da história, quando o presidente J. F. Kennedy prometeu que um homem - americano - pousaria na Lua antes do final da década de 1960 (Dugaich, 2001). Segundo Edwards (2008), essa retórica presidencial, que não se restringiu apenas ao J. F. Kennedy, foi usada como ferramenta para moldar a opinião pública e garantir apoio político.

Uma maneira de moldar a opinião pública é através da publicidade. Segundo Muniz (2004), a palavra publicidade designa o ato de divulgar, de tornar público, que posteriormente no século XIX tornou-se o termo para denominar qualquer forma de divulgação de produtos ou serviços. Nesse sentido, a televisão e o cinema se tornaram grande fonte de difusão de propagandas, e como salienta Biaggio (2003), em uma sociedade tecnológica, os meios de comunicação, tais quais, as revistas, jornais, cinema e principalmente a televisão, influenciam diretamente na formação do ser humano.

Então, a maneira como a mídia divulga uma informação influencia o modo como as pessoas irão recebê-la. Segundo Valim (2006): “Tradicionalmente, considera-se o Cinema um fenômeno complexo, em que se entrecruzam fatores de ordem estética, política, sócio-econômica ou sócio-cultural”. Diante dessa perspectiva, durante o período da Guerra Fria, o cinema estadunidense lançou diversos filmes que abordam a temática nuclear, e de maneira geral, essas obras geram a imagem que o público tem sobre a Guerra Fria, criando o que o autor Biagi (2001) chamou de o “Imaginário da Guerra Fria”.

Quando Asimov (2016) publica o romance *Pedra no Céu* em 1950, embalado pelo uso das bombas nucleares em Hiroshima e Nagasaki, ele supõe que devido ao efeito das armas nucleares, em um futuro, toda Terra ficaria inabitada. Ao escrever a história de *Watchmen*, Moore e Gibbons (2009) criam um vilão que orquestra um plano de invasão alienígena para fazer os países do mundo se alinharem, e com isso, evitar uma guerra nuclear entre EUA e URSS. No filme *Godzilla* (1954), tem-se uma história de uma criatura que remete ao terror atômico, vide que ela é despertada depois de testes nucleares.

Os exemplos citados no parágrafo anterior mostram como as mídias, principalmente durante a segunda metade do século XX, influenciaram a maneira como a sociedade via o uso da energia nuclear. Como escrevem Gonçalves e Almeida (2005), toda tecnologia pode ser usada para fins pacíficos ou bélicos, e no caso da energia nuclear, ela é lembrada

principalmente por causa das bombas que foram jogadas em Hiroshima e Nagasaki. Devido a essa lembrança, reforçada pela obras da cultura pop que reforçam essa imagem, a energia nuclear é vista por muitas pessoas como algo a ser evitado.

Devido a esses fatores, este trabalho visa produzir uma Sequência Didática<sup>1</sup> (SD) com intuito de desmistificar esse tema. Fazendo o uso da Controvérsia Controlada, esse trabalho pretende criar um roteiro para aplicação de uma SD que terá seu ápice em um debate sobre o uso da energia nuclear por fissão. Espera-se abordar tanto a articulação dos estudantes ao tratar sobre um tema polêmico, como trabalhar o letramento científico, desenvolvendo as habilidades críticas para analisar uma situação conflituosa.

---

<sup>1</sup> De acordo com de Araújo (2013), uma sequência didática trata-se de um conjunto de atividades organizadas de forma articulada e orientada para atingir um objetivo de ensino, respeitando o nível de conhecimento dos alunos e promovendo o desenvolvimento de competências.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho busca desenvolver uma compreensão crítica sobre os benefícios e riscos associados ao uso da energia nuclear, considerando os aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais. Além disso, partindo da criação de uma Sequência Didática, pretende-se promover o debate informado sobre a energia nuclear, incentivando os estudos a avaliar suas percepções iniciais e confrontar informações de diferentes fontes. Por fim, esta Sequência Didática busca estimular a tomada de decisão por parte dos estudantes, fundamentadas em conhecimento científico, com base em uma análise equilibrada das vantagens e desvantagens da energia nuclear por fissão como fonte de energia.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar e descrever os principais conceitos relacionados à energia nuclear, incluindo o funcionamento de usinas nucleares, a fissão nuclear e as aplicações na geração de energia elétrica.
2. Analisar criticamente os impactos da energia nuclear no contexto ambiental e social, incluindo desastres nucleares, segurança das usinas e o tratamento dos rejeitos radioativos.
3. Participar de um debate estruturado, utilizando a técnica da controvérsia controlada, para defender diferentes pontos de vista sobre a energia nuclear, baseados em argumentos científicos e éticos.

### 3 JUSTIFICATIVA

O uso da energia nuclear é um dos temas mais controversos e relevantes na atualidade, tanto do ponto de vista científico quanto social. Segundo Zimmer (2012):

A energia nuclear continua a ser uma questão controversa para as políticas públicas sobre a energia e o ambiente em virtude de fatores ligados ao gerenciamento de rejeitos, às consequências de acidentes severos, à proliferação nuclear horizontal e à competitividade econômica. As questões referentes às mudanças climáticas e à segurança de abastecimento de energia elétrica têm trazido uma nova lógica para o seu ressurgimento na agenda política internacional. (Zimmer, 2012, p. 14).

Ao estudar sobre o uso de energia nuclear por fissão, percebe-se que esta se encaixa perfeitamente nas CSC. De acordo com Sadler *et al.* (2007), as CSC abordam assuntos polêmicos com certa relevância, e tem como objetivo envolver os alunos no processo de pensamento de ordem superior, dando atenção às questões científicas e sociais do debate. Tendo em vista esses aspectos, se faz justo o uso de debates sobre esse tema em sala de aula, que em último aspecto, deverá gerar no aluno o senso crítico ao analisar a temática.

Ao analisar as CSC, e buscando maneiras de abordá-las em sala de aula, foi pensado o uso dos enfoques CTS (ciências-tecnologias-sociedades). De acordo com Aikenhead (2003), a educação com ênfase nas CTS surge com o propósito de buscar uma educação científica voltada para a cidadania. Segundo Santos (2004), existe uma intersecção entre a educação CTS e o letramento científico, e é através deste que os alunos podem obter conhecimento sobre o mundo e a sociedade em que estão inseridos de maneira crítica.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) deixa evidente em seu texto que: o “letramento científico, não só envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências” (Brasil, 2018, p. 321). Dessa maneira, a BNCC deixa evidente que a Ciência não deve ser tratada como uma matéria que ensina os alunos a decorar fórmulas complicadas, mas sim, possibilitar aos estudantes um novo olhar sobre o mundo em que estão inseridos.

Todas essas questões que são levantadas pela CTS estão na formulação da BNCC. Em seu documento, ao tratar sobre o estudo das Ciências da Natureza, está escrito que:

A área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das

ciências. Em outras palavras, aprender ciência não é a finalidade última do letramento, mas, sim, o desenvolvimento da capacidade de atuação no e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania. (Brasil, 2017, p. 321.)

Buscando o debate sobre o uso da energia nuclear, foi escolhido o modelo de SD. Segundo Barros (2024), a SD é uma ferramenta didática que surge “em torno de uma engenharia didática, centrada no ensino da língua por meio da apropriação de práticas linguageiras, que oferece *instrumentos/ferramentas* para mediar a ação docente” (Barros, 2024. p. 21). A SD vai criar uma lógica na aplicação dos conteúdos que, em suma, abordarão o escopo dos tópicos supracitados nesta seção, e que terá seu ápice em um debate entre os estudantes.

De acordo com Cristóvão *et al.* (2003), os debates são práticas sociais, que através da linguagem faz o sujeito adaptar suas opiniões, de modo que o destinatário entenda sua posição. Desse modo, o debate que culmina esse projeto busca fazer os alunos exporem suas opiniões da melhor forma possível, a fim de convencer os demais sobre o uso ou não da energia nuclear.

Os debates são essenciais para a formulação de ideias. Sobre os debates, tratando especificamente da seção que aborda as Ciências da Natureza, a BNCC escreve que uma das competências associadas a ela é:

Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva. (Brasil, 2017, p. 324.)

Ao ler os eixos norteadores da matriz de referência do ENEM, na competência 6 lê-se que as Ciências da Natureza devem: “apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas” (Brasil, 2010, p. 9). Essa matriz vai ao encontro com o que deseja ser trabalhado ao longo desta SD, por isso, para encerra-lá, será aplicada uma avaliação com questões retiradas de provas do ENEM, visando analisar se o trabalho desenvolvido, além de enriquecer criticamente os estudantes, pode prepará-los para futuros vestibulares.

Dessa maneira, o presente trabalho busca usar o tema da energia nuclear como eixo norteador para a execução de um debate. O trabalho será estruturado a partir de uma SD para que ele tenha passos bem definidos e para que possa gerar materiais que os alunos usarão durante a discussão oral. Toda a estruturação dos objetivos pretendidos seguiu a BNCC, pois espera-se que este trabalho possa vir a ser aplicado em sala de aula futuramente.

## 4 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

### 4.1 Sequência Didática

Esta seção tem como objetivo apresentar a sequência didática (SD) proposta neste trabalho, acompanhada dos referenciais teóricos que a fundamentam. A SD foi planejada para ser desenvolvida ao longo de seis semanas, considerando um cenário hipotético em que o professor dispõe de dois encontros semanais, totalizando doze aulas. No entanto, ao longo do texto serão indicadas sugestões para o enriquecimento da proposta, especialmente em contextos em que o docente disponha de mais tempo para explorar os conteúdos com maior profundidade e flexibilidade.

Segundo Cabral (2017), uma característica recorrente nas produções científicas educacionais é o chamado "empréstimo de modelos", prática que tem se consolidado particularmente nas pesquisas que envolvem sequências didáticas. A SD é um produto educacional versátil, aplicável em diversas áreas do conhecimento, como línguas, ciências, matemática e artes. Sua adaptabilidade aos mais variados contextos escolares contribui para sua valorização crescente entre os docentes, o que se reflete na quantidade expressiva de trabalhos acadêmicos publicados regularmente sobre o tema.

Em sua gênese, o modelo de SD está associado às pesquisas sobre a aquisição da língua escrita através de um trabalho sistemático com gêneros textuais desenvolvidos por pesquisadores de Genebra (Araújo, 2013). Ainda segundo Araújo (2013), os autores que desenvolveram a teoria afirmavam que ela procura favorecer, dentre outras coisas, o domínio dos gêneros e das situações de comunicação. Portanto, ela busca por meio de atividades em sequência, explorar conteúdos de forma progressiva, levando em consideração a curva de aprendizado dos alunos.

Para definir o conceito de sequência didática, toma-se como referência a obra *A prática educativa: como ensinar*, de Antoni Zabala. O autor utiliza expressões como "unidades de intervenção pedagógica" para designar o conjunto de atividades planejadas com vistas à realização de objetivos educacionais específicos (Zabala, 1998). Em essência, uma SD propõe um encadeamento de etapas que podem ser adaptadas conforme o contexto, sempre orientadas para um fim formativo determinado..

Ao estruturar uma SD aplicável, ela se configura como um produto educacional, o que dialoga diretamente com a ideia de Cabral (2017) sobre o empréstimo de modelos. Uma

sequência bem elaborada pode — e deve — ser reaproveitada em outros contextos educacionais, desde que adaptada às especificidades de cada realidade. Essa flexibilidade torna a SD uma ferramenta potente para projetos didáticos de curta ou longa duração.

Seguindo o que escreve Barros (2024), uma SD pode ser usada para melhorar uma determinada prática de linguagem, e, como a autora bem lembra no título de sua tese, ela é um instrumento de mediação. Usá-la, portanto, é um modo de evitar dispersão e sugere um trabalho intensivo, concentrado em um tempo delimitado (Barros, 2024).

Trabalhando com uma SD, o professor tem liberdade de incorporar diversos recursos pedagógicos, que de forma geral busca o melhor desenvolvimento possível das atividades propostas. Por isso, nas subseções seguintes serão especificados recursos pedagógicos que estarão incorporados à didática proposta neste trabalho.

#### **4.2 Enfoques CTS**

Sabendo do potencial pedagógico que uma SD possui, o presente trabalho desenvolverá uma que seja aplicável (mesmo que não seja algo que irá acontecer a priori), para explorar a ideia estereotipada que se tem sobre o uso de energia nuclear na sociedade. Nesse sentido, dentro do trabalho desenvolvido foram incorporados outros argumentos pedagógicos, onde cabe o destaque para os enfoques CTS.

Segundo Chrispino (2017), a abordagem CTS é uma alternativa poderosa para a formação tecnocientífica, sob a ótica da formação do cidadão, e tendo isso em vista, ela torna-se uma ferramenta muito importante para a formação de ideias dos indivíduos. De acordo com Santos e Mortimer (2002), as CTS possuem caráter multidisciplinar, integrando as dimensões científica, tecnológica, social e ambiental, e assim, os conteúdos científicos são abordados de maneira que contemplem a discussão de aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos.

À medida que se desenvolvia os estudos que possibilitaram o uso da energia nuclear, diversos debates sobre este tipo de produção de energia, perguntando-se sobre a segurança e como ela poderia beneficiar os seres humanos dentre outros questionamentos (Carvalho; Bignardi, 2021; Silva, 2010; Montalvão, 2012; Carvalho, 2012). Devido à complexidade do tema trabalhado, que envolve tanto aspectos científicos como sociais, as CTS foram escolhidas para compor a formulação do projeto.

Ao longo das aulas expositivas propostas na SD, os alunos serão guiados por duas visões que tendem a ser antagônicas: a energia extraída por meio da fissão nuclear é boa, porém requer cuidados. Seria muito fácil para um professor de Física ou Química explicar

para uma turma como se extrai energia de um átomo por meio de fissão nuclear, destacando as vantagens e os riscos. Contudo, uma aula tradicional sobre esse tema não tende a gerar uma aprendizagem significativa, e devido a esse fator foi pensado nas CTS.

De acordo com Santos e Schnetzler (1997), o movimento CTS teve origem na década de 1970, e é derivado de um conjunto de reflexões que se tinha sobre o uso da tecnologia na sociedade. Alinhado a essa visão, Roby (1981) escreve que os cursos voltados a ensinar a educação CTS buscam levar para os estudantes conhecimentos sobre a sociedade, principalmente no que diz respeito às aplicações da ciência e tecnologia. Os referenciais citados são um pequeno exemplo dentro de um escopo grande que mostra como as CTS são importantes para o letramento na formação científica dos estudantes.

Para trabalhar as CTS existem uma gama de referências a serem seguidas, no entanto, ao analisar os trabalhos dos autores Uri Zoller e Fletcher Watson foi possível conceituar certos aspectos de modo que ficasse mais palatável. No quadro 1, por exemplo, são resumidos 12 aspectos que os autores listam como sendo pontos que a CTS inclui no seu corpo de ensino.

**Quadro 1** – aspectos presentes nas CTS.

Aspecto	Finalidade
1.	Preparar o estudante para agir de modo inteligente em sociedade tecnológica.
2.	Formar um cidadão capacitado e disposto a ser um agente de mudança social...
3.	Ajudar o estudante a desenvolver a adaptabilidade e a flexibilidade perante a diversas situações na sociedade.
4.	Preparar os estudantes para a participação nos sistemas políticos e sócio-econômico.
5.	Desenvolver a capacidade do aluno para efetuar análise a respeito do uso da tecnologia.
6.	Formar um cidadão apto a tomar decisões, que saiba avaliar o papel das decisões humanas na determinação da sobrevivência e vida da sociedade no futuro...
7.	Desenvolver habilidades para resolver problemas na vida real.

8.	Aumentar o conhecimento dos estudantes em relação ao meio em que estão inseridos e desenvolver neles a capacidade de desenvolver seu próprio pensamento.
9.	Desenvolver a capacidade discriminatória para decidir que informação e conhecimento são relevantes para resolver criticamente algum problema específico no campo sócio-tecnológico
10.	Capacitar os estudantes a compreenderem o poder e a fragilidade de alguma teoria...
11.	Incentivar os estudantes a perguntarem, contestarem posições e a pesquisar criticamente os fatos "conhecidos", verdades "bem estabelecidas" e valores "aceitos universalmente".
12.	Ajudar os estudantes de áreas não-científicas a gostar do seu curso/matéria de ciência e tecnologia, como uma atividade de aprendizagem interessante e estimuladora...

**Fonte:** Adaptado de Zoller e Watson (1974), p. 112-113.

Os aspectos citados no quadro 1 estão, em maior ou menor grau, em consonância com as ideias trabalhadas na SD. Mais que isso, esses aspectos vão de encontro com os documentos oficiais do Ministério da Educação (MEC). Nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de 2013, dentre uma série de objetivos, está escrito que:

...uma formação integral, portanto, não somente possibilita o acesso a conhecimentos científicos, mas também promove a reflexão crítica sobre os padrões culturais que se constituem normas de conduta de um grupo social, assim como a apropriação de referências e tendências que se manifestam em tempos e espaços históricos, os quais expressam concepções, problemas, crises e potenciais de uma sociedade, que se vê traduzida e/ou questionada nas suas manifestações. Assim, evidencia-se a unicidade entre as dimensões científico-tecnológico-cultural, a partir da compreensão do trabalho em seu sentido ontológico. (Brasil, 2013, p. 162).

Tomando os parágrafos anteriores como referência, é possível notar que as CTS são uma importante ferramenta para formação tecnocientífica dos estudantes. Devido a isso, os processos trabalhados nessa SD estão alinhados com os aspectos citados no quadro 1 e que na seção dos Pressupostos Metodológicos serão mais bem aprofundados.

### 4.3 Controvérsia Controlada

A fim de introduzir os enfoques CTS à SD, será usada a técnica da Controvérsia Controlada. A Ciência é construída com alicerces na racionalidade e na cooperação entre cientistas, entretanto, durante a história do desenvolvimento científico, sempre existiram disputas entre grupos defensores de teorias opostas, gerando controvérsias científicas (Krupczak; Aires, 2019). Por isso, a ideia desta SD é trabalhar uma CSC que tem como objetivo principal fazer com que os alunos criem seus argumentos para defender suas visões, baseando-se em fatos científicos.

Segundo Newton, Driver e Osborne (1999), as práticas argumentativas são centrais para o desenvolvimento da educação e ciência, e que as pedagogias que promovem a argumentação são a base de uma efetiva educação científica. Então, escolher um tema que engloba as CSC é uma maneira de introduzir a argumentação científica para o contexto de sala de aula. E mais, promover um debate faz com que o aluno crie seus argumentos para defender o seu pensamento.

A Controvérsia Controlada e o Debate (que será abordado a seguir) estão alinhados com os enfoques CTS. Ao analisar principalmente os aspectos 5, 8, 9 e 11 do quadro 1, é possível verificar pontos que abordam questões que serão trabalhadas pelos estudantes durante o debate. No entanto, esse debate precisa ter um início, meio e fim bem delimitados, para que assim os objetivos propostos sejam alcançados, e é nesse contexto que a Controvérsia Controlada se torna crucial para o desenvolvimento dessa SD, vide que ela vai reger o que acontecerá durante o debate.

De acordo com de Souza e Chrispino (2021), a Controvérsia Controlada é uma técnica que permite a simulação de um debate real a partir de um tema socialmente relevante. Segundo Flechsig e Schiefelbein (2003), a origem da Controvérsia Controlada surge com as *disputation*, que eram disputas argumentativas muito presente durante a idade média, que dentre outras coisas serviam como exercício de retórica. No entanto, se usássemos essa afirmação das disputas argumentativas, teria que se admitir que as raízes da Controvérsia Controlada seriam da Grécia, com o surgimento da dialética. Como explica Alves (2021), ao fazer uma análise de *O Sofista*, descreve a dialética como o método empregado pelo filósofo para chegar ao conhecimento e à sabedoria.

Portanto, quando se analisa os objetivos das CTS no quadro 1, é possível perceber que elas estão em total sincronia com o que é proposto pela Controvérsia Controlada. Seguindo o trabalho de Chrispino (2017), é possível estabelecer sete pontos para a criação de uma

controvérsia controlada, e seguindo esses pontos torna-se possível a execução de um debate bem estruturado. Esses pontos podem ser lidos no quadro 2.

**Quadro 2** – pontos para estabelecer uma controvérsia controlada.

Ponto	Objetivos
1.	Identificação de problemas comuns para fomentar a controvérsia
2.	O exercício de estabelecer padrões mutuamente aceitáveis para sustentar um debate
3.	A busca organizada de informações pertinentes ao tema definido
4.	A preparação da exposição em defesa da posição
5.	A capacidade de escutar a posição controversa apresentada racionalmente pelos demais participantes
6.	O exercício de contra-argumentar a partir do conhecimento dos argumentos utilizados pelos demais debatedores
7.	Reavaliar as posições – a sua e as demais – a partir de novas informações.

**Fonte:** adaptado de Chrispino (2017), p. 100.

Todos esses pontos expostos no quadro 2 são essenciais para que aconteça o debate de forma satisfatória. Alguns desses pontos, como por exemplo os número 5, 6 e 7, serão abordados durante o debate, trabalhando assim a argumentação. Os demais aspectos abordados no quadro 2 serão trabalhados durante as aulas da SD que precedem o debate, pois estes são essenciais para a formatação do debate que sucederá.

#### 4.4 O Debate

Segundo Cristóvão, Durão e Nascimento (2003), os debates fazem com que os alunos produzam seus argumentos, e dessa forma, esses indivíduos expressam valores e regras sociais sobre temas controversos. Nesse sentido, o aluno designado a defender uma bandeira que vai contra a sua opinião pessoal precisará entender os argumentos contrários para que possa bem participar do debate.

Os debates são um dos alicerces responsáveis pelo desenvolvimento científico, pois, eles colocam os cientistas em constante reflexão sobre as possíveis questões que geram controvérsias (Reis, 2019). Existem muitos debates científicos que ficam dentro de um certame acadêmico, outros, no entanto, furam essa bolha e tornam-se temas discutidos por toda a sociedade. Segundo Krupczak e Aires (2019), há determinados temas que geram disputas relacionadas aos benefícios e malefícios da aplicação de determinadas teorias e tecnologias, que envolvem questões éticas morais e sociais, as quais são chamadas de CSC.

Ao trabalhar com uma Controvérsia Controlada, Chrispino (2017), baseando-se nos estudos de diversos autores, escreve o que seria “as fases da técnica de controvérsia”, que em suma, seriam passos a seguir no planejamento de um debate. Para o autor, as fases da controvérsia seriam semelhantes ao que está descrito no quadro 3.

**Quadro 3** – fases para criação de um debate.

Fase	Descrição
(1) Fase de preparação	Definir oito aspectos essenciais: o quê, quando, onde, quem, com quem discute, quem será o moderador, que tipo de público será convidado e quais serão as regras que organizarão o debate.
(2) Fase de recepção	Apresentar a tese “digna de discussão”, que deve ser aceita e publicada (difundida).
(3) Fase de interação	Início da argumentação. Os defensores expõem evidências e argumentos, seguidos pelos oponentes com contra-argumentos. Nas rodadas seguintes, novos argumentos são apresentados e/ou alguns anteriores são retirados.
(4) Fase de avaliação	Finalização com uma decisão do grupo ou com a opinião expressa dos espectadores presentes à disputa.

**Fonte:** adaptado de Chrispino (2017).

Partindo do trabalho citado anteriormente, foi pensado maneiras para desenvolver o debate desta SD. Por exemplo, da fase 1 da organização, é necessário responder às seguintes perguntas: “*o quê, quando, onde, quem, com quem discute, quem será o moderador, que tipo de público será convidado e quais serão as regras que organizarão o debate*”. Pensando na SD aqui trabalhada que não será aplicada a priori, as perguntas *quando* e *onde* não precisam ser necessariamente respondidas, contudo, é essencial que as demais sejam. Por exemplo, para este trabalho, *o quê* será debatido é o uso da energia nuclear, e *quem* debaterá *com quem* serão os alunos com eles próprios. Já as demais perguntas dessas fases serão melhor trabalhadas nos pressupostos metodológicos.

Ainda sobre a fase 1, pensando em debates como o desta SD, o professor deve ser o mediador das discussões, pois, dessa forma ele pode garantir que todas as opiniões possam ser ouvidas, sem que haja favoritismo. Além disso, o professor pode conduzir as interações para que elas permaneçam dentro do tema e dos objetivos pedagógicos, evitando desvios ou discussões improdutivas. Dentre as perspectivas citadas, caso um aluno fosse o mediador, é possível que ele pudesse não seguir tais demandas, pois isso não estaria dentro do que lhe foi cobrado ao longo das aulas da SD.

A escolha do professor como mediador segue também concepção interacionista na construção do conhecimento trabalhada por Vygotsky, que como descreve Spencer (2014), essa concepção entende que a linguagem deve ser vista como um lugar de interação e interlocução, constituindo assim polos de subjetividade. Como afirma Spencer (2014), nessa concepção o professor não é visto como um transmissor do conhecimento, já que a ideia do conhecimento parte do compartilhamento de ideias. Devido a esse fator, em toda esta SD o professor foi pensado como mediador, compartilhando as ideias necessárias para a execução da atividade proposta.

Para a fase 2, é preciso ter a escolha de um tema relevante, que se encaixe nos aspectos que possam ser abordados nas CTS. Neste trabalho foi escolhido tratar sobre o uso da energia nuclear, pois existem vários aspectos debatíveis nessa área. Ao trabalhar o uso da energia nuclear na sociedade, ter-se-á um tema com um grande escopo, que vai desde o seu uso na saúde, até finalmente, a produção de energia e bombas. Por isso, a ocupação da fase 2 está relacionada na escolha de um tema que seja relevante o suficiente para ser discutido.

A escolha de um tema relevante é parte fundamental na concepção de um debate. Essa parte do trabalho é inspirada no estudo de Paulo Freire acerca dos temas geradores, que como aponta Dantas (2018), é um modo de criar uma aproximação entre os assuntos trabalhados com o contexto de vida dos estudantes, tornando a aprendizagem mais significativa. Ao analisar a alfabetização feita por Paulo Freire, Couto (2003), argumenta que a escolha de temas geradores busca a descodificação dos temas trabalhados em sala, investigando o seu significado social, podendo compreender a ideia e depois intervir-la criticamente, que em linhas gerais é o que se espera com o debate aqui proposto.

A fase 3 está diretamente relacionada à estrutura do debate: quem e quando os “atores” falarão. Essa fase estará melhor descrita no quadro 4, na seção dos Pressupostos Metodológicos. Contudo, essa fase é de suma importância, pois é nela que se faz o uso da Controvérsia Controlada, onde o professor, que aqui é sugerido que seja o mediador, fará uso

dessa técnica para levar os alunos a um destino, que são os objetivos pré-estabelecidos. Tais objetivos devem estar em consonância com aspectos citados no quadro 1.

Pelo tema central que é proposto nessa SD, a fase 4 requer um certo cuidado ao ser analisada. Em um tema como o que será abordado nesse debate, é possível que não se chegue a uma decisão final que seja uma “verdade absoluta”. Nesse caso, usando o próprio trabalho do autor, foi pensado que na fase 4, em vez de pensar em uma decisão unânime tomada pelo grupo de alunos, o objetivo final seria criar um espaço de participação, onde os alunos podem antecipar dificuldades que poderão enfrentar, e nesse caso, o debate estaria ofertando ferramenta para que os estudantes pudessem enfrentar tais situações (Chispino, 2017, p. 109).

#### **4.5 Avaliação Final**

Como será descrito mais profundamente na seção dos Pressupostos Metodológicos, após a aula do debate, será feita uma avaliação final a fim de medir o ganho educacional que essa SD pode ter gerado nos alunos. Será aplicada uma avaliação de dez questões retiradas das provas do ENEM a partir do ano 2000, com o intuito de descobrir se usar tais metodologias ativas podem influenciar no desempenho do estudante que participa de provas de vestibular.

A ideia de usar questões do ENEM surge devido a divergência entre o modelo tradicional de ensino e o uso de metodologias ativas. Como aponta Silva (2019), existe um grande número de trabalhos que apontam para a necessidade de se fugir das aulas tradicionais, e é nesse contexto que surge o uso das metodologias ativas. De acordo com Lima (2016), dentre outras coisas, as metodologias ativas buscam promover uma vinculação da aprendizagem aos aspectos significativos da realidade e o desenvolvimento do raciocínio e de capacidades para intervenção na sua própria realidade.

Como escreve Prado *et al.* (2012), as metodologias ativas colocam os alunos como protagonistas no processo de ensino, e nesse contexto, o professor é um facilitador no processo da aprendizagem. Em contraponto, como aponta Leão (1999), o ensino tradicional estruturou-se através do método expositivo, que de maneira simples pode ser representado pelos passos formais postulados por Johann Friedrich Herbart (1776-1841), que consiste em, preparação do conteúdo, apresentação, assimilação/comparação, generalização e aplicação.

Ao analisar o ensino tradicional em comparação com as metodologias ativas, é possível notar que nessas abordagens há um papel diferente para os alunos, vide que no ensino tradicional foca-se muito na figura do professor. E é nessa dualidade que surge o

ENEM, a segunda maior prova de vestibular do mundo, que em tese não usa o modelo ensino tradicional, mas uma matriz que avalia determinadas competências.

Segundo os documentos oficiais do ENEM (2013), as novas Matrizes de Referência para o Enem apresentam os seguintes eixos cognitivos comuns a todas as áreas:

- I. Dominar linguagens (DL): dominar a norma culta da Língua Portuguesa e fazer uso das linguagens matemática, artística e científica e das línguas espanhola e inglesa.
- II. Compreender fenômenos (CF): construir e aplicar conceitos das várias áreas do conhecimento para a compreensão de fenômenos naturais, de processos histórico-geográficos, da produção tecnológica e das manifestações artísticas.
- III. Enfrentar situações-problema (SP): selecionar, organizar, relacionar, interpretar dados e informações representados de diferentes formas, para tomar decisões e enfrentar situações-problema.
- IV. Construir argumentação (CA): relacionar informações, representadas em diferentes formas, e conhecimentos disponíveis em situações concretas, para construir argumentação consistente.
- V. Elaborar propostas (EP): recorrer aos conhecimentos desenvolvidos na escola para elaboração de propostas de intervenção solidária na realidade, respeitando os valores humanos e considerando a diversidade sociocultural. (INEP, 2013, p. 7)

Perrenoud define as competências como a “capacidade de agir eficazmente em um determinado tipo de situação, apoiada em conhecimentos, mas sem limitar-se a eles” (Perrenoud, 1999, p. 5). E de fato, ao analisar questões do ENEM, é perceptível que elas criam uma contextualização que vai de acordo com o documento supracitado. No entanto, o ENEM é ainda uma prova longa, cansativa, e que requer muitos conhecimentos por parte dos alunos.

A ideia principal envolta da avaliação é que nesse processo de desenvolvimento da SD, que coloca os alunos como protagonistas, haja um modo de trabalhar que ajude os estudantes a resolverem questões como as do ENEM, que se aproxima do ensino tradicional. Por mais que esse tipo de prova tenha uma matriz de referência como a apresentada, ainda é uma prova objetiva, tal qual as do modelo tradicional de ensino.

Devido ao contexto apresentado, o presente trabalho que usa uma SD, terá uma avaliação como o encerramento das atividades. Essa atividade avaliativa, que está presente no apêndice D, tem por finalidade verificar se o conhecimento adquirido ao longo das aulas produz conhecimentos significativos a ponto dos alunos conseguirem resolver questões da área. Foram dez questões selecionadas de provas antigas do ENEM, que em suma, englobam os assuntos trabalhados nas aulas anteriores da SD.

## 5 PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS

A SD aqui desenvolvida foi pensada para ser aplicada em um conjunto de doze aulas, divididas em seis encontros. É possível, no entanto, modificações por parte do docente que queira aplicá-la, de maneira que a SD possa servir de modelo para um projeto de um bimestre em escolas de educação básica. Algumas dessas possíveis modificações serão citadas adiante no texto.

### 5.1 Primeiro Encontro - O questionário e os documentários

Seguindo trabalhos como o de Zani, *et al.* (2013), o primeiro acréscimo didático à SD foi a controvérsia controlada. De início, será aplicado um questionário (apêndice A) para, dentre outros objetivos, descobrir o quanto os estudantes sabem sobre o tema. Além de buscar saber o quanto os alunos sabem sobre o tema, esse questionário pretende descobrir se os alunos têm uma visão estereotipada sobre o tema. E por fim, o questionário tem ainda uma terceira função na divisão dos atores no debate, ponto que será abordado nas seções seguintes.

Como escreve Viera (2009), quando se trata de uma pesquisa científica, os objetivos devem estar alinhados entre o ideal e o possível. Então, quando se propõe um trabalho que foge aos padrões “normais”, é preciso ter objetivos traçados e definir maneiras de como alcançar tais metas. Como a proposta principal deste trabalho é montar um debate, então, em algum momento os estudantes serão divididos. Em uma sala de aula há uma heterogeneidade muito grande, onde cada aluno possui especificidades, com aptidões diferentes, que podem executar diferentes tarefas de forma satisfatória.

Buscando analisar as aptidões dos estudantes, se faz necessário o uso de um questionário. De acordo com Miranda (2020), um questionário pode ser aplicado com o intuito de conhecer o seu público, desde de suas crenças, até seus conhecimentos, representações e informações pontuais para questões que dizem respeito ao meio em que vivem.

Como escreve Batista *et al.*, (2021), o inquérito por questionário permite auscultar um número significativo de sujeitos, possibilitando quantificar os dados obtidos e de se proceder a inferências e a generalizações. Sendo assim, o questionário se torna algo de suma importância, pois com ele é possível fazer um levantamento prévio que servirá de termômetro que medirá o quanto a turma está engajada com o assunto proposto para debate.

O questionário pensado para a SD foi montado com perguntas específicas que visam sondar os pensamentos dos estudantes sobre o tema. Quando se pergunta, por exemplo, “O

que você associa imediatamente ao pensar em energia nuclear?”, espera-se que os alunos, em poucas palavras, possam expressar a sua ideia inicial. Espera-se que na maioria das respostas seja apresentada uma visão estereotipada, pois, exceto nos casos que os alunos por conta própria tenham lido sobre o tema, o conhecimento deles será formado pelo que eles consumiram nas mídias, que em grande parte tende a mostrar a versão dos desastres.

Em sequência ao questionário serão mostrados dois mini-documentários sobre o uso de energia nuclear. Esses dois vídeos possuem caráter antagônico e isso é feito de maneira proposital, vide que a principal intenção desse primeiro encontro é demonstrar que há aspectos positivos e negativos em relação ao uso da energia nuclear. Na internet há diversos vídeos que mostram como a energia nuclear é produzida, seus benefícios, perigos e afins, mas para a concepção deste trabalho foi pensado nos vídeos “Chernobyl: a História Completa” do canal Ciência Todo Dia (2019) e “Entramos na USINA NUCLEAR de ANGRA!!!#Boravê”, do canal Manual do Mundo (2019).

Enquanto o vídeo do canal Ciência Todo Dia mostra uma visão sobre o desastre que ocorreu em Chernobyl, considerando os aspectos que levaram ao acidente nuclear, o vídeo canal do Manual do Mundo faz uma viagem por dentro das usinas de Angra I e II. Esses vídeos têm por volta de 30 minutos, enquanto o questionário pode ser respondido facilmente em menos de 20 minutos, o que levaria menos de uma hora e meia, portanto, caberia dentro de duas aulas de 45 minutos, que é um tempo médio de aulas.

Ao exibir esses dois vídeos que mostram situações antagônicas sobre o uso da energia nuclear, anexando a isto o questionário inicial, ao final do primeiro encontro haverá duas situações muito bem definidas: primeiro, os alunos mostrarão seus conhecimentos e suas visões prévias sobre o assunto com o questionário; segundo, serão acrescentadas às suas visões prévias duas mostras antagônicas sobre o mesmo assunto, a segurança em um e o perigo no outro, e isso será importante para o debate de ideias que essa SD propõe.

## **5.2 As aulas teóricas**

Após o encontro onde serão mostrados os documentários, é preciso que haja aulas teóricas que demonstrem os conteúdos citados. O ideal é que sejam três ou mais aulas, abordando esses conteúdos mais a fundo. Para esta SD serão propostas três aulas teóricas, visando trabalhar os conteúdos abordados nos documentários. Cabe ainda que, essas aulas terão ligação direta com as questões que serão aplicadas no último encontro, e elas servirão como avaliação de todo o trabalho.

A primeira dessas aulas se dará no segundo encontro da SD e será em torno de como funciona a fissão nuclear. Saber como funciona a fissão é o passo inicial para que os alunos aprendam como se produz a energia nuclear em usinas nucleares, e como esse estudo deu origem às armas nucleares. Nesta aula será abordado o contexto histórico por trás do desenvolvimento da física nuclear, o modo como a fissão acontece, e o porquê da geração de energia através da quebra dos átomos, destacando tantos aspectos positivos como os negativos que envolvem essa área.

A depender do tempo disponível, quem for aplicar esta SD pode usar documentários disponíveis no YouTube, ou o filme *Oppenheimer* (2023), biografia sobre o físico Robert Oppenheimer, chefe do Projeto Manhattan que criou as bombas que atingiram Hiroshima e Nagasaki em 1945. Contudo, há de se ter o cuidado para não se enviesar os pensamentos dos estudos, expondo só aspectos positivos ou negativos.

O terceiro encontro, que corresponde a segunda aula teórica, é voltado para mostrar como a Física Nuclear está relacionada a outros campos do conhecimento. Devido a isso, essa aula irá trabalhar a datação por Carbono-14. Então, nessa aula é obrigatório que se explique o que é um isótopo, diferenciando, por exemplo, o Carbono-12 do Carbono-14. Nesta aula, se faz preciso também a explicação e exemplificação sobre o que é o decaimento radioativo, e com ele o professor pode explicar como se sabe o tempo que se leva para o plástico se decompor na natureza. Além disso, o professor pode retomar a aula anterior e explicar como a cidade de Pripjat ficará inabilitada por tanto tempo devido ao acidente nuclear de Chernobyl.

No quarto encontro, a aula é voltada para tratar sobre os equipamentos que usam o conhecimento de física nuclear e que são usados no cotidiano das pessoas. Essa aula possui um escopo grande, vide que você pode tratar desde como a energia de uma usina chega nas casas das pessoas até apresentar os equipamentos que são usados para combater células cancerígenas através do uso de radioterapia. É recomendado usar vídeos da internet para mostrar como o tratamento com aceleradores lineares (LINAC) acontecem durante um tratamento e explicar como ele minimiza danos aos tecidos saudáveis ao redor do tumor.

Todas as aulas teóricas vão obrigatoriamente retomar as questões das CTS, vide que elas são pensadas para abordar os temas já citados no quadro 1 (voltar na subseção 4.2). No apêndice B estão os planos de aula das aulas teóricas, onde é possível observar o direcionamento dos encontros para a discussão sobre o tema. Essas aulas também serão fundamentais visando a avaliação final da SD, quando os alunos responderão questões a nível

do ENEM sobre o tema trabalhado. O apêndice C contém um material que explica os conceitos usados nas aulas teóricas para aqueles que desejem aplicar este projeto.

### 5.3 Aprofundamento teórico

Não é o objetivo principal da SD desenvolvida neste trabalho, no entanto, ela pode ser um projeto de um bimestre/semestre. Além de aulas extras, existem diversos recursos e métodos que podem ser usados para estender e enriquecer o trabalho aqui produzido.

Se há o interesse e a disponibilidade de usar filmes em sala, uma possibilidade é trabalhar os episódios da minissérie Chernobyl (2019), onde, além do desastre, são trabalhados temas como a política, ciência e sociedade. Outro material de excelente qualidade é o documentário Promessa de Pandora (2013), onde ambientalistas refletem sobre os benefícios do uso da energia nuclear. Nesta linha, é possível apresentar o filme O dia seguinte (1986), que mostra, dentre outras coisas, o drama dos moradores de uma pequena cidade, que enfrentam a devastação e o horror após terem sofrido um ataque nuclear.

Para além dos filmes, existe a possibilidade de diversos sites que comportam variadas atividades. Nessa linha, o PHET Colorado é uma excelente ferramenta que possibilita reproduzir experimentos de maneira online. O site da [IAEA](#) é uma excelente fonte de pesquisa que pode ser usado pelos estudantes para pesquisas que os prepararão para o debate. Existe, por fim, no site da [How Radiology Works](#) uma calculadora interativa que permite calcular as doses de radiação a qual estamos expostos no dia a dia.

Há ainda sites que possibilitam visitas online por usinas nucleares, que permitem aos estudantes conhecer como estas estão organizadas. E, para caso de haver tempo hábil, é possível produzir atividades, tais quais, a criação de maquetes, onde os alunos podem desenvolvê-las e explicar como elas funcionam. Existem diversas outras possibilidades que, quando incrementadas a este trabalho, enriqueceram a SD.

### 5.4 Organização do debate

Para chegar ao debate aqui proposto, como citado, utilizar-se-á a Controvérsia Controlada, e todo o decorrer dessa SD é pensando nesse momento. O questionário inicial servirá para se notar as opiniões pré-concebidas por parte dos alunos. O questionário deve ter pelo menos uma pergunta direta sobre o que eles acham sobre o uso de energia nuclear, assim, será possível identificar se por parte do aluno existe algum estereótipo.

Partindo das respostas do questionário, o professor deve separar a turma tentando separar os alunos que possuem visões antagônicas sobre o tema. Com as aulas os estudantes

poderão ter novas visões sobre o conteúdo ou reforçar as suas visões pré-estabelecidas. Não é necessário que o aluno que concorde totalmente com o uso da energia nuclear esteja desse lado no debate, caso ele não esteja, ele deve criar argumentos para defender o seu lado no debate.

**Quadro 4** – passos para criação do debate.

Passo	Descrição
1. Planejamento Geral	Escolher um tema que seja relevante e que possa gerar uma controvérsia sociocientífica (ler quadro 1).
2. Objetivos do debate	Delimitar os objetivos que devem ser alcançados. Esses objetivos devem estar em consonância com as CTS (ler quadro 1).
3. Organização dos Grupos	Separar a sala e designar os papéis dos estudantes durante o debate. O ideal é que tenha 3 grupos: um pró; um contra; e o terceiro que será a plateia.
4. Estrutura do Debate	Definir como serão as rodadas de perguntas e como serão as réplicas e tréplicas.
5. Regras do Debate	Repassar as regras do debate. As regras servem para que, dentre outras coisas, todos os tenham a oportunidade participar.
6. Avaliação e Reflexão	A avaliação deve ser feita de acordo com os objetivos que precisam ser alcançados (ler quadro 3).

**Fonte:** o autor.

No quadro 4, estão os passos recomendados para a criação de um debate que leve em conta os aspectos das CTS e, em seguida, o quadro 5 apresenta esse modelo preenchido de acordo com o debate proposto para esta SD.

**Quadro 5** – passos para execução do debate proposto.

Passo	Descrição
1. Planejamento Geral	Tema central do debate: “A energia nuclear é uma solução (ou problema) viável e segura para os problemas energéticos e ambientais do século XXI?”
2. Objetivos do debate	Promover a reflexão crítica e argumentação sobre o tema; combater estereótipos e preconceitos relacionados ao tema,

	contextualizando ciência, tecnologia e sociedade.
3. Organização dos Grupos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo pró-energia nuclear: Defesa dos benefícios econômicos, ambientais e tecnológicos.</li> <li>- Grupo contra-energia nuclear: Apresenta críticas, focado nos riscos, acidentes históricos e problemas com resíduos nucleares.</li> <li>- Plateia: Faz perguntas para enriquecer o debate.</li> <li>- Mediador: O professor mediará o debate de forma neutra.</li> </ul>
4. Estrutura do Debate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abertura (10 minutos): Apresentação do tema pelo professor e releitura das opiniões iniciais.</li> <li>- Exposição inicial (15 minutos): Cada grupo apresenta seus argumentos principais.</li> <li>- Rodada de perguntas e respostas (20 minutos): Grupos fazem perguntas entre si; o moderador ajuda a esclarecer ou direcionar.</li> <li>- Discussão aberta (20 minutos): A plateia faz perguntas.</li> <li>- Fechamento e síntese (10 minutos): moderador encerra com uma síntese.</li> </ul>
5. Regras do Debate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Respeito mútuo: Sem convites ou comentários desrespeitosos.</li> <li>- Uso de dados e fontes: Argumentos devem ser fundamentados.</li> <li>- Participação equitativa: Todos devem ter a chance de falar.</li> </ul>
6. Avaliação e Reflexão	Após o debate, reflete-se sobre os argumentos apresentados e como eles são direcionados para a visão crítica do tema.

**Fonte:** o autor.

Os quadros 4 e 5 contém toda estrutura que foi pensada para criação de um debate que converge com as ideias presentes nesta SD. Na fase de estruturação, os tópicos escolhidos precisavam estar em consonância com as ideias que foram propostas ao longo do desenvolvimento do trabalho, por isso, nota-se que o debate privilegia a discussão, bem fundamentada por referências teóricas, esperando que tenha-se a participação efetiva de todos os estudantes.

### 5.5 Aplicação da Avaliação Final

Por fim, no último encontro desta SD, será aplicada uma avaliação. Essa atividade que contém questões trazidas do ENEM é parte da avaliação total, vide que deve haver uma avaliação referente a participação no debate. Ao analisar os resultados que o debate e avaliação trouxeram, é possível descobrir se essa SD gerará uma aprendizagem significativa, e isso será notado nos argumentos utilizados pelos alunos no debate, e ainda, se a partir desse método os alunos têm conhecimento suficiente para resolver questões ao nível de vestibular.

Sadler (1989) escreve que existe uma associação que conecta o ato de avaliar com o julgamento. Contudo, é sabido que nas formas de avaliar tem-se um modelo de julgamento que pode não exprimir uma realidade factível. É por isso que existem algumas formas de avaliar o processo de ensino-aprendizagem, das quais se destacam as avaliações formativas e somativas, que podem ser usadas de acordo com os objetivos que se deseja alcançar.

Como um dos objetivos desta SD é verificar como uma atividade encaixada em metodologias ativas pode gerar resultados em estudantes que possivelmente farão provas de vestibular, foi pensado então em uma avaliação do tipo formativa. De acordo com Sadler (1989), uma avaliação somativa é essencialmente retrospectiva, que tenta remeter os conteúdos que os estudantes aprenderam, no ciclo final de um processo de aprendizagem.

Devido aos objetivos traçados de início e a definição do que é uma avaliação somativa, este foi o modelo escolhido para finalizar a SD. Foram escolhidas dez questões que estiveram presentes em antigas provas do ENEM, e que estavam relacionadas ao tema debatido, e mais especificamente, questões que tinham relação com as aulas teóricas que foram propostas pela SD.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar a visão estereotipada das pessoas sobre o uso da energia nuclear, considerando aspectos científicos, tecnológicos e sociais. Para isso, foi desenvolvida uma SD baseada no enfoque CTS, estruturada em aulas teóricas e um debate utilizando a técnica da controvérsia controlada. O ápice pensado para esta SD foi um debate, onde os estudantes poderão expor seus pensamentos a respeito do tema trabalhado ao longo das semanas.

Embora a aplicação da SD não tenha sido realizada, a pesquisa teórica e a elaboração da proposta permitiram refletir sobre os desafios na abordagem desse tema em sala de aula. A pesquisa feita ao longo dos meses evidenciou como fatores históricos, culturais e midiáticos, podem por vezes enraizar um pensamento na mente das pessoas. A proposta da SD buscou mitigar essa questão ao incentivar a reflexão crítica dos alunos por meio do letramento científico, promovendo um entendimento mais equilibrado entre os benefícios e os riscos da tecnologia nuclear.

É senso comum que o ensino de física é visto como algo difícil por uma grande parte dos estudantes. A SD aqui desenvolvida busca mostrar a física de uma forma diferente, colocando-a no cerne de situações que abordam o cotidiano das pessoas. E mais, essa SD coloca os estudantes no centro da situação debatida, pois eles serão os protagonistas, realizando as pesquisas que servirão de argumento para participar do debate. Dessa maneira, a visão estereotipada que se tem sobre a física também será abordada nas entrelinhas deste projeto.

Além disso, o tema da energia nuclear permite uma abordagem totalmente interdisciplinar. A Física entra explicando a fissão e o funcionamento das usinas; a Química ajuda a entender os isótopos e o decaimento; a Biologia mostra como a radiação afeta o corpo humano, como no tratamento do câncer. Já a História e a Geografia ajudam a contextualizar eventos como Chernobyl e Hiroshima, ligando ciência e sociedade. Tudo isso permite que o professor explore o tema de forma crítica, conectando conteúdo escolar com situações reais, como propõe a abordagem CTS.

Em suma, este trabalho busca reforçar a importância de estratégias pedagógicas que integrem ciência, tecnologia e sociedade, especialmente em temas controversos como o que aqui foi levantado. Além disso, espera-se que futuramente esta SD possa ser aplicada, ao

passo que se possa testar a eficácia da sequência didática proposta, avaliando seu impacto na construção de uma visão mais informada e crítica sobre o tema.

## REFERÊNCIAS

- AIKENHEAD, Glen S. STS education: a rose by any other name. In: CROSS, R. (Org.). **A vision for science education: responding to the work of Peter Fensham**. London, UK: RoutledgeFalmer, 2003. p. 59-75.
- ALVES, A. Método e discurso filosófico no diálogo O Sofista de Platão. **Princípios: Revista de Filosofia (UFRN)**, [S. l.], v. 28, n. 57, p. 131–142, 2021. DOI: 10.21680/1983-2109.2021v28n57ID24084. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/principios/article/view/24084>. Acesso em: 11 jan. 2025.
- ARAÚJO, Denise Lino de. O que é (e como faz) sequência didática?. **Entrepalavras**, v. 3, n. 1, p. 322-334, 2013.
- AZEVEDO, Carlos. Meios de Comunicação como armas de guerra. **Observatório de Imprensa**, v. 146, 2001. Disponível em: <https://arquivo.bocc.ubi.pt/pag/azevedo-carlos-comunicacao-armas-guerra.html>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- BARROS, Eliana Merlin Deganutti de. **Gestos de ensinar e de aprender gêneros textuais: a sequência didática como instrumento de mediação**. 2024.
- BATISTA, B. et al. Técnicas de recolha de dados em investigação: Inquirir por questionário e/ou inquirir por entrevista. **Reflexões em torno de Metodologias de Investigação: recolha de dados**, v. 2, p. 13-36, 2021.
- BIAGGIO, Angela Maria Brasil. **Psicologia do desenvolvimento**. Petrópolis: Vozes, 2003.
- BIAGI, Orivaldo Leme. O imaginário da Guerra Fria. **Revista de história regional**, 2001.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica**. Disponível em: [https://www.gov.br/mec/pt-br/acao-a-informacao/media/seb/pdf/dc\\_n\\_educacao\\_basica\\_nova.pdf](https://www.gov.br/mec/pt-br/acao-a-informacao/media/seb/pdf/dc_n_educacao_basica_nova.pdf). Acesso em: 5 jan. 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. **INEP. Matrizes do ENEM: o exame em foco**. Brasília: Inep, 2010. Disponível em: [https://download.inep.gov.br/download/enem/matriz\\_referencia.pdf](https://download.inep.gov.br/download/enem/matriz_referencia.pdf). Acesso em: 7 jan. 2025.
- CABRAL, NATANAEL FREITAS. Sequências Didáticas. **Belém-Pará: SBEM/SBEM-PA**, 2017.
- CAMPOS, Luis Antônio Monteiro *et al.* O que são estereótipos. **Ciência Atual–Revista Científica Multidisciplinar do Centro Universitário São José**, v. 17, n. 2, 2021.
- CARVALHO, Carlos Alberto Aragão de; BIGNARDI, Hudson Lucio. A energia nuclear no Brasil: histórico e resultados. **Revista Brasileira de Estudos Estratégicos**, v. 13, n. 25 Jan-Jun 2021. Disponível em: <https://www.rest.uff.br/index.php/rest/article/view/260>. Acesso em: 22 mar. 2025.
- CARVALHO, Joaquim Francisco de. *O espaço da energia nuclear no Brasil*. **Estudos Avançados**, v. 26, (74). 2012 Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10640>. Acesso em: 22 mar. 2025.

CHERNOBYL. MAZIN, Craig (Criador). Direção de Johan Renck. HBO, 2019. Minissérie televisiva, 5 episódios.

CHRISPINO, Álvaro. Introdução aos enfoques CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade – na educação e no ensino. **Documentos de trabajo de iberciencia**, v. 4, 2017.

CRISTOVÃO, V.; DURÃO, A.; NASCIMENTO, E. Debate em sala de aula: práticas de linguagem em um gênero escolar. **5º Encontro do CelSul**, p. 1436-1441, 2003.

COUTO, Sônia. **O método Paulo Freire**. 2003. Disponível em: <https://acervo.paulofreire.org/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

DANTAS, Cristiane Mendes da Silva. **Ensino de ciências para anos iniciais**: seleção de conteúdos curriculares a partir do conceito de tema gerador de Paulo Freire. - Belo Horizonte, 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-B2ZNTL>. Acesso em: 18 mar. 2025.

EDWARDS, Jason A. Defining the Enemy for the Post-Cold War World: Bill Clinton's Foreign Policy Discourse in Somalia and Haiti. **International Journal of Communication**, V.2, p. 830-847, 2008.

GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, IPS de. A energia nuclear. **Ciência hoje**, v. 37, n. 220, p. 36-44, 2005.

KRUPCZAK, Carla; AIRES, Joanez Aparecida. Controvérsias sociocientíficas: uma análise da produção acadêmica brasileira. **VIDYA**, v. 39, n. 1, p. 277-290, 2019.

LEÃO, Denise Maria Maciel. Paradigmas contemporâneos de educação: escola tradicional e escola construtivista. **Cadernos de pesquisa**, n. 107, p. 187-206, 1999.

LIMA, Valéria Vernaschi. Espiral construtivista: uma metodologia ativa de ensino-aprendizagem. **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 21, p. 421-434, 2016.

LIPPMANN, W. **Public Opinion**. Nova Iorque: Free Press. (1922/1961).

MANUAL DO MUNDO. **Entramos na USINA NUCLEAR de ANGRA!!! #Boravê**. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZsR-2zkEwCM>. Acesso em: 04 out. 2024.

MARIE CURIE. Direção: Marie Noëlle. Produção: Mariusz Lukomski, Amaury Ovisé. Polônia, França, Alemanha: Big World Pictures, 2019. Filme.

MIRANDA, Gilberto José. Elaboração e aplicação de questionários. *In*: NOVA, Silvia Pereira de Castro Casa et al (org.). **Trabalho de Conclusão de Curso**: uma abordagem leve, divertida e prática. São Paulo: Saraiva Educação, 2020. p. 216-229.

MOORE, Alan; GIBBONS, Dave. **Watchmen**. São Paulo: Panini Brasil, 2009.

MONTALVÃO, Edmundo. **Energia nuclear: risco ou oportunidade?** Brasília: IBICT, 2016. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/604> . Acesso em: 22 mar. 2025.

MONTERO, Hugo. **La crisis de los misiles: Trece dramáticos días al borde del holocausto nuclear**. Lectorum, 2017.

MUNIZ, Eloá. Publicidade e propaganda origens históricas. **Caderno Universitário**, v. 148, 2004.

NEWTON, P. E.; DRIVER, R.; OSBORNE, J. The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, v. 21, n. 5, p. 553–576, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/095006999290570>. Acesso em 22 abr. 2025.

O DIA DEPOIS. MEYER, Nicholas (Diretor): ABC Circle Films, 1983. Filme (127 min). Exibido originalmente pela ABC Television.

OPPENHEIMER. Direção: Christopher Nolan. Produção: Emma Thomas, Charles Roven, Christopher Nolan. Estados Unidos: Universal Pictures, 2023. Filme.

PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

O TÚMULO DOS VAGALUMES. Direção: Isao Takahata. Japão: Studio Ghibli, 1988. 1 filme (89 min), son., color.

PRADO, Marta Lenise do *et al.* Arco de Charles Maguerez: refletindo estratégias de metodologia ativa na formação de profissionais de saúde. **Escola Anna Nery**, v. 16, p. 172-177, 2012.

PROJETO PANDORA. STONE, Robert (Diretor): Robert Stone Productions, 2013. Documentário (87 min).

REIS, Pedro. Da discussão à ação sócio-política sobre controvérsias sócio-científicas: uma questão de cidadania. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, p. 1-10, 2013.

ROBY, Keith R. Origins and significance of the science technology and society movement. **The Australian Science Teachers Journal**, v. 27, n. 2, p. 37-43, 1981.

SADLER, Troy D. *et al.* Learning science through socioscientific issues: Instructional considerations and the impact on student learning. *Science Education*, v. 91, n. 2, p. 387-397, 2007. Disponível em: [10.1080/09500693.2016.1204481](https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1204481). Acesso em: 14 mar. 2025.

SADLER, D. R. Formative assessment and the design of instructional systems. **Instructional Science, London**, v. 18, n. 2, p. 119-44, June 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00117714>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SANTOS, W. L. P. Educação CTS e a formação para a cidadania: desafios e possibilidades. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 10, n. 3, p. 473-487, 2004.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 1–24, 2002. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=129518326002>. Acesso em: 21.09.2024.

SANTOS, W. L. P. dos; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química**: compromisso com a cidadania. Ijuí: Unijuí, 1997.

SILVA, Erick dos Santos. ENEM, prática docente e metodologias ativas: uma equação que não fecha. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 55-68, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p55>. Acesso 13 fev. 2025.

SILVA, Paulo Roberto Bairros da. *Energia nuclear: mitos e conflitos*. 2017. Dissertação (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/17050>. Acesso em: 22 mar. 2025.

SOUZA, Pâmella Santos de; CHRISPINO, Álvaro. Aplicação da técnica da controvérsia controlada para a construção do pensamento crítico sobre as relações CTSA de alunos do ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 2, p. 164-184, 2021.

DUGAICH, Cibele Mara. **O marketing político americano da guerra fria: discurso, mistificação e mídia**. 2001. Tese de Doutorado. [sn]. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/361322>. Acesso em 25 set. 2024.

SPENCER, L. C. O professor como mediador nas aulas de argumentação. *Linguagens & Cidadania*, [S. l.], v. 16, n. 1, 2016. DOI: 10.5902/1516849222145. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/LeC/article/view/22145> . Acesso em: 17 mar. 2025.

VALIM, Alexandre Busko. Imagens vigiadas: uma história social do Cinema no alvorecer da guerra fria, 1945-1954. *Diálogos-Revista do Departamento de História e do Programa de Pós-Graduação em História*, v. 10, n. 1, p. 197-200, 2006. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Dialogos/article/view/41388>. Acesso em: 14 set. 2024.

VIEIRA, Sonia *et al.* **Como elaborar questionários**. São Paulo: Atlas, 2009. 175 p.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1998.

ZANI, Liliane Baldan *et al.* A técnica da controvérsia controlada sob a perspectiva do enfoque CTS: uma contribuição para o ensino de biologia. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 6, n. 2, 2013. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1008>. Acesso em: 29 set. 2024.

ZIMMER, Carl. **Energia Nuclear: Princípios, Benefícios e Riscos**. São Paulo: Editora Blucher, 2012.

ZOLLER, Uri e WATSON, Fletcher G. Technology education for nonscience students in the secondary school. *Science Education*, v. 58, n. 1, p. 105-116, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sce.3730580115>. Acesso em: 29 ago. 2024.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL

Escola:			
Aluno (a):			
Série/Turma:	Turno:		
	( ) Matutino	( ) Vespertino	( ) Noturno

### Questionário Inicial sobre Energia Nuclear

**1. O que você entende como "energia nuclear"?**

- (a) Uma forma de energia limpa e renovável.
- (b) Uma tecnologia perigosa, com riscos para o meio ambiente e a saúde.
- (c) Não tenho uma opinião formada sobre o assunto.
- (d) Outro: \_\_\_\_\_

**2. Você considera o uso da energia nuclear positivo ou negativo? Por quê?**

---



---



---



---

**3. O que você associa imediatamente ao pensar em energia nuclear?**

---



---



---

**4. Você acredita que a energia nuclear é segura?**

- (a) Sim, desde que seja controlado com rigor.
- (b) Não, sempre há riscos elevados.
- (c) Depende da situação e dos protocolos de segurança.
- (d) Não sei ou nunca pensei sobre isso.

**5. Na sua opinião, quais são as principais vantagens do uso da energia nuclear?**

---



---



---

**6. E quais são as principais desvantagens?**

---

---

---

**7. Você sabe onde existem usinas nucleares no Brasil?**

- (a) Sim, sei onde estão.
- (b) Sei que existem, mas não sei onde.
- (c) Não, não sabia que o Brasil tinha usinas nucleares.

**8. Como você acha que o uso da energia nuclear afeta o meio ambiente?**

---

---

**9. Qual a sua opinião sobre o uso da energia nuclear para geração de eletricidade no Brasil?**

- (a) Sou a favor, pois traz benefícios energéticos.
- (b) Sou contra, riscos envolvidos.
- (c) Sou indiferente sobre o tema.
- (d) Outro: \_\_\_\_\_

**10. Você acha que a energia nuclear é essencial para o futuro da humanidade?**

- (a) Sim, é uma das principais fontes de energia limpa.
- (b) Não, outras tecnologias são mais seguras e eficazes.
- (c) Não tenho uma opinião formada sobre isso.

## APÊNDICE B – PLANOS DAS AULAS TEÓRICAS

### *Aula 01*

1. **Dados de identificação**

Escola: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Turma: 3º ano                  Números de alunos: x                  Duração da aula: 2 aulas (1h30min)

2. **Conteúdo:** Como funciona a fissão nuclear?

3. **Objetivos:** Compreender o conceito de fissão nuclear; relacionar a fissão nuclear com a produção de energia; analisar os desafios e implicações da energia nuclear.

4. **Metodologia:** A aula se iniciará fazendo um retorno para a década de 1930, onde, usando o quadro para traçar uma linha do tempo será feita uma ligação entre o descobrimento da fissão em 1938 e o estudo sobre o átomo (30 min). No segundo momento será abordado o Projeto Manhattan e como ele foi importante para auxiliar no desenvolvimento atômico. Esse momento da aula contará com uma contextualização histórica, a fim de entender o porquê do grande aporte financeiro para o estudo dessa área (30 min). Por fim, usando a equação que relaciona massa e energia, será apresentado no quadro o cálculo aproximado que mostra a quantidade de energia que as bombas soltadas em Hiroshima e Nagasaki liberaram em suas devidas explosões (30 min).

5. **Materiais:** lousa e pinceis.

6. **Avaliação:** a avaliação será do tipo formativa, pois os alunos serão induzidos a participar da aula, visando uma preparação para o debate.

7. **Referências:** BAKER, Joanne. **50 ideias de física quântica que você precisa conhecer**. Tradução de Rafael Garcia. 1 ed. São Paulo: Planeta, 2015.

## **PLANO DE AULA - Aula 02**

### **1. Dados de identificação**

Escola: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Turma: 3º ano Números de alunos: x Duração da aula: 2 aulas (1h30min)

2. **Conteúdo:** Como a Física Nuclear está presente no cotidiano?

3. **Objetivos:** Compreender o conceito de isótopo; demonstrar o que é o decaimento radioativo.

4. **Metodologia:** A aula se iniciará com um retorno ao início do século XX, onde será traçada uma linha do tempo no quadro, destacando marcos como a descoberta do elétron (1897), do núcleo atômico (1911), e por fim, a descoberta dos isótopos. Nesse contexto, será introduzido o conceito de isótopos, com exemplos simples (como o carbono-12 e o carbono-14), explicando sua diferença em relação ao número de nêutrons (30 min). Em segundo momento, será abordado o fenômeno do decaimento radioativo. Com uso do quadro e esquemas visuais, será explicado como núcleos instáveis emitem partículas (alfa, beta e gama) para se estabilizar. Será destacada a importância da meia-vida no contexto do decaimento, com exemplos de elementos como urânio-238 e carbono-14 (30 min). Por fim, será realizada uma demonstração no quadro utilizando a equação da meia-vida para calcular a quantidade restante de um isótopo radioativo após determinado tempo, usando como pano de fundo a cidade de Pripjat. Também será feita uma ligação com a equação de Einstein ( $E=mc^2$ ) para mostrar, de forma simplificada, como o decaimento radioativo libera energia (30 min).

5. **Materiais:** lousa e pinceis.

6. **Avaliação:** a avaliação será do tipo formativa, pois os alunos serão induzidos a participar da aula, visando uma preparação para o debate.

7. **Referências:** BAKER, Joanne. **50 ideias de física quântica que você precisa conhecer**. Tradução de Rafael Garcia. 1 ed. São Paulo: Planeta, 2015.

### **PLANO DE AULA - Aula 03**

#### **1. Dados de identificação**

Escola: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Turma: 3º ano Números de alunos: x          Duração da aula: 2 aulas (1h30min)

2. **Conteúdo:** Os equipamentos que usam os conhecimentos de física nuclear.

3. **Objetivos:** Compreender como as usinas nucleares funcionam; demonstrar como é feito o tratamento com radioterapia.

4. **Metodologia:** Essa aula se iniciará retomando a explicação sobre como acontece a fissão. Com essa explicação será mostrado o mini-documentário *Fukushima: terremoto, tsunami e acidente nuclear* (2019) do canal Fatos Desconhecidos (40 min). Em sequência, em slides será mostrado brevemente uma série de equipamentos que usamos no nosso cotidiano que funcionam ou foram confeccionados a partir dos estudos sobre a energia nuclear (20 min). Por fim, será mostrado o vídeo *Acelerador linear por academia de radiologia* (2019) do canal Academia de Radiologia, onde eles explicam como funciona o tratamento por radioterapia (30 min).

5. **Materiais:** lousa, pincel, computador e projetor.

6. **Avaliação:** a avaliação será do tipo formativa, pois os alunos serão induzidos a participar da aula, visando uma preparação para o debate.

#### **7. Referências:**

ACADEMIA DE RADIOLOGIA. [Acelerador linear por academia de radiologia](https://www.youtube.com/watch?v=DMERm12ZeBc). Youtube, 14 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=DMERm12ZeBc>>. Acesso em 4 de abr. 2025.

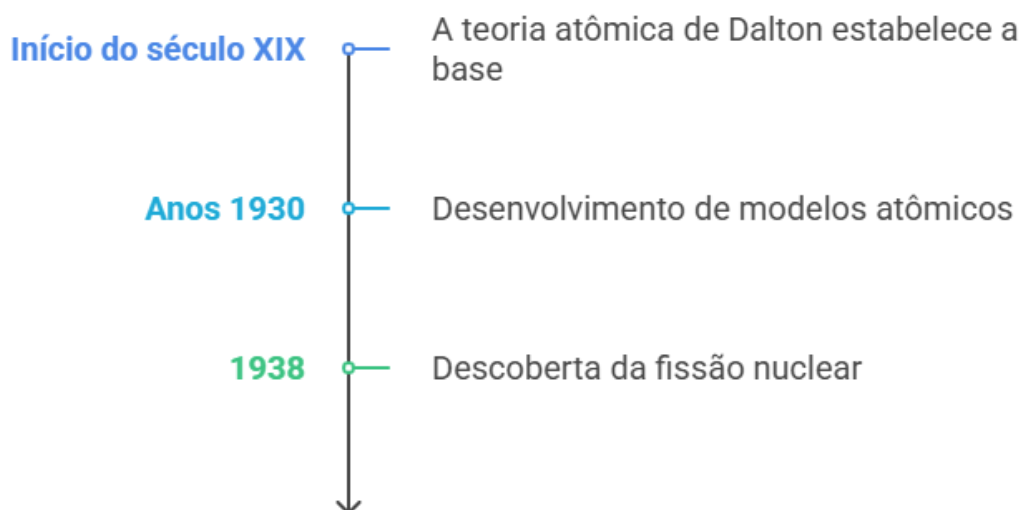
BAKER, Joanne. **50 ideias de física quântica que você precisa conhecer**. Tradução de Rafael Garcia. 1 ed. São Paulo: Planeta, 2015.

FATOS DESCONHECIDOS. **Fukushima: terremoto, tsunami e acidente nuclear**. Youtube, 27 ago. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5mw1JJ0KdFc>. Acesso em 4 de abr. 2025.

## APÊNDICE C – GUIA CONCEITUAL DAS AULAS TEÓRICAS

### AULA 01 - COMO FUNCIONA A FISSÃO NUCLEAR?

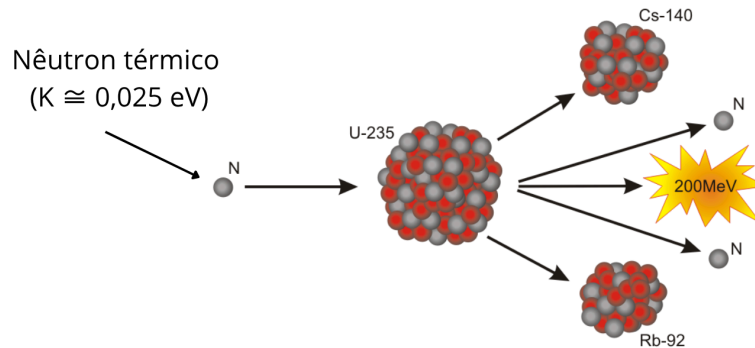
A primeira parte da aula teórica propõe um retorno histórico ao início do século XX, especialmente à década de 1930, com o intuito de compreender como se chegou à descoberta da fissão nuclear em 1938. Para isso, sugere-se a construção de uma linha do tempo no quadro, situando os principais eventos da física atômica desde os primeiros modelos de Dalton até a estruturação do núcleo atômico. O modelo de linha do tempo pode seguir o exemplo a seguir.



A descoberta do nêutron por James Chadwick, em 1932, foi um marco crucial, pois abriu caminho para experimentos que levaram à descoberta da fissão. Segundo Krane (2001), o nêutron, por não possuir carga elétrica, pode penetrar no núcleo atômico sem ser repellido, tornando-se a principal “ferramenta” das reações nucleares modernas. Esse avanço permitiu que cientistas como Otto Hahn, Lise Meitner e Fritz Strassmann descobrissem que o bombardeio do urânio com nêutrons poderia gerar produtos muito mais leves, como o bário — fenômeno que Meitner identificou como fissão nuclear.

Atkins e Jones (2007) ressaltam que essa descoberta não foi apenas científica, mas também filosófica: a ideia de que o núcleo atômico poderia se partir contradiz, até então, a noção de indivisibilidade do átomo, retomando e rompendo a ideia original de átomo como “indivisível”. O conhecimento da fissão e da energia liberada nas reações nucleares se tornou, assim, a base para os avanços energéticos e bélicos que seriam amplamente explorados nas

décadas seguintes. A fissão nuclear pode ser vista de maneira simplificada no exemplo a seguir.



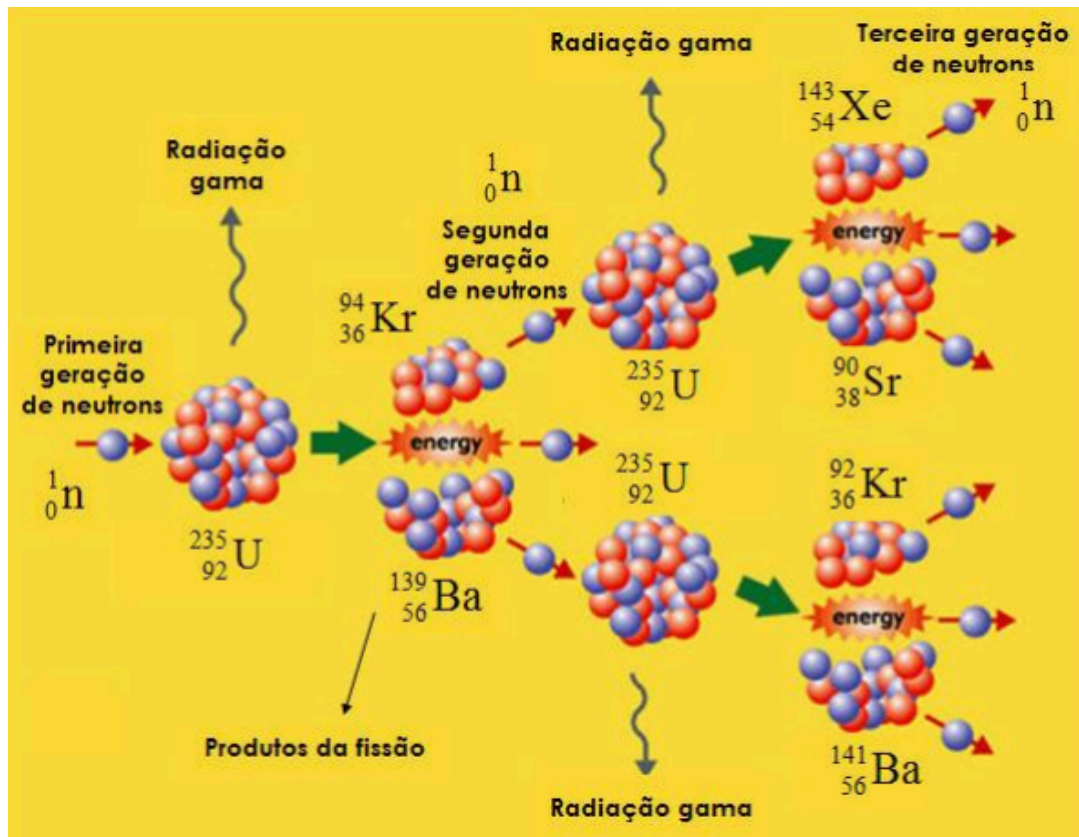
**Fonte:** o autor.

No esquema acima, vemos o nêutron térmico, com uma energia cinética bem baixa ( $\sim 0,025 \text{ eV}$ ), que é ideal para provocar a fissão. Esse nêutron colide com o núcleo do U-235, tornando-o instável e formando o núcleo  $^{236}\text{U}$  (não representado diretamente, mas é o estágio intermediário). O núcleo de Urânio-235 se divide em dois fragmentos menores:

1. Césio-140 ( $^{140}\text{Cs}$ );
2. Rubídio-92 ( $^{92}\text{Rb}$ ).

Isso ocorre com a liberação de aproximadamente  $200 \text{ MeV}$  de energia, representada pela explosão amarela no centro. São liberados de 2 a 3 nêutrons rápidos (essa situação é probabilística), que podem colidir com outros átomos de U-235 e dar início a uma reação em cadeia (Esses nêutrons estão indicados com o rótulo “N”). A seguir, é possível notar como se dá a reação em cadeia.

A imagem a seguir representa uma reação em cadeia da fissão nuclear do urânio-235 ( $^{235}\text{U}$ ), ou seja, um processo em que uma reação inicial desencadeia outras reações subsequentes de forma contínua. No esquema, um nêutron ( $^1_0n$ ) atinge um núcleo de urânio-235 ( $^{235}\text{U}$ ). Essa colisão torna-o instável, e ele sofre fissão, ou seja, se divide em dois fragmentos menores (nesse caso, por exemplo: bário-139 ( $^{139}\text{Ba}$ ) e criptônio-94 ( $^{94}\text{Kr}$ )). Durante essa divisão, é liberada energia (marcada com "energy" na imagem) e mais nêutrons livres. Os nêutrons liberados vão atingir outros núcleos de urânio-235, iniciando novas fissões. Cada nova fissão também gera energia e mais nêutrons.



Fonte: portal Unicamp.

Os produtos da fissão variam, mas nos exemplos mostrados acima temos:

- ${}^{235}\text{U} \rightarrow {}^{94}\text{Kr} + {}^{139}\text{Ba}$
- ${}^{235}\text{U} \rightarrow {}^{90}\text{Sr} + {}^{143}\text{Xe}$
- ${}^{235}\text{U} \rightarrow {}^{96}\text{Kr} + {}^{141}\text{Ba}$

A reação continua e cada nêutron gerado pode causar mais fissões. Essa multiplicação rápida de reações é o que caracteriza a reação em cadeia, e se houver massa crítica (quantidade suficiente de urânio), essa cadeia se mantém ativa e exponencial.

Na segunda parte da aula, propõe-se uma discussão crítica sobre o Projeto Manhattan, iniciativa científica e militar dos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial que culminou na criação das primeiras armas nucleares. Esse momento da aula

busca contextualizar o surgimento do projeto e o grande aporte de recursos dedicados ao desenvolvimento da bomba atômica.

De acordo com Rhodes (2008), a criação da bomba foi resultado de uma união sem precedentes entre ciência, indústria e governo. A ameaça de que a Alemanha nazista desenvolvesse sua própria arma nuclear levou Albert Einstein e Leo Szilard a escreverem uma carta ao presidente Roosevelt em 1939, alertando sobre o potencial do urânio para produzir explosões devastadoras. Isso levou à mobilização de cientistas de diversas nacionalidades e ao investimento de bilhões de dólares em pesquisa e infraestrutura, algo nunca antes visto na história da ciência.

A última parte da aula propõe trabalhar a famosa equação de Einstein,  $E = mc^2$ , como forma de demonstrar, de maneira aproximada, a quantidade de energia liberada nas explosões nucleares que atingiram Hiroshima e Nagasaki em 1945. A equação representa a equivalência entre massa e energia e está na base do funcionamento das reações nucleares, tanto em usinas quanto em armamentos.

Segundo Tipler e Mosca (2009), essa fórmula expressa que uma pequena quantidade de massa pode ser convertida em uma quantidade imensa de energia, desde que multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz. No caso das bombas nucleares, mesmo gramas de material fissil resultam em explosões capazes de destruir cidades inteiras. Para provar, o professor pode calcular a energia das bombas nucleares que atingiram Hiroshima e Nagasaki.

$$E = mc^2$$

Onde:

- $E$  é energia (em joules),
- $m$  é a massa convertida em energia (em kg),
- $c$  é a velocidade da luz no vácuo, que vale aproximadamente  $3,0 \times 10^8$  m/s

Para a bomba de Hiroshima - **Bomba "Little Boy"**:

- Material: Urânio-235,
- Massa de material fissil: cerca de 64 kg, mas menos de 1 kg foi realmente convertida em energia,

- Estimativa da massa convertida: aproximadamente 0,0007 kg (700 miligramas),

**Cálculo:**

$$E = mc^2$$

$$E = 0,0007.(3,0 \times 10^8)^2 = 0,0007.9,0 \times 10^{16} \approx 6,3 \times 10^{13} \text{J.}$$

**Para a bomba de Nagasaki - Bomba “Fat Man”**

- Material: Plutônio-239,
- Massa de material fissil: cerca de 6,2 kg, mas cerca de 0,00098 kg foi convertido em energia.

**Cálculo:**

$$E = mc^2$$

$$E = 0,00098.(3,0 \times 10^8)^2 \approx 8,8 \times 10^{13} \text{J.}$$

## REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

KRANE, Kenneth S. **Física nuclear e de partículas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

RHODES, Richard. **A criação da bomba atômica**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. Vol. 3. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[https://portal.ifi.unicamp.br/images/files/graduacao/aulas-on-line/fisica-geral-iv/Aula\\_1\\_4\\_Fisica\\_Nuclear\\_1sem2014\\_disponibilizada.pdf](https://portal.ifi.unicamp.br/images/files/graduacao/aulas-on-line/fisica-geral-iv/Aula_1_4_Fisica_Nuclear_1sem2014_disponibilizada.pdf)

## AULA 02 - COMO A FÍSICA NUCLEAR ESTÁ NO NOSSO COTIDIANO?

A aula terá início com um panorama histórico que revisita os principais marcos do desenvolvimento do modelo atômico no início do século XX. Essa abordagem permite situar os alunos dentro da evolução conceitual da física e da química atômica, essencial para a compreensão da física nuclear. Entre os marcos destacados estão a descoberta do elétron por J. J. Thomson em 1897, que revelou a natureza corpuscular da eletricidade (Atkins; Jones, 2007), e a descoberta do núcleo atômico por Ernest Rutherford em 1911, resultado do famoso experimento da folha de ouro, que demonstrou que a maior parte da massa e da carga positiva de um átomo está concentrada em seu núcleo (Brown *et al.*, 2009).

A partir dessa base, introduz-se o conceito de isótopos, ou seja, átomos de um mesmo elemento químico que possuem o mesmo número de prótons ( $Z$ ), mas diferente número de nêutrons, alterando assim sua massa atômica ( $A$ ). Exemplos clássicos, como o carbono-12 e o carbono-14, são úteis para demonstrar essa diferença de forma simples e significativa. O carbono-14, por ser radioativo, é amplamente utilizado em técnicas de datação de fósseis e artefatos arqueológicos, o que reforça a aplicação interdisciplinar do conteúdo (ATKINS; JONES, 2007).

No segundo momento da aula, o foco recai sobre o fenômeno do decaimento radioativo, no qual núcleos atômicos instáveis buscam estabilidade emitindo partículas subatômicas. O decaimento pode ocorrer de diversas formas, sendo os mais comuns:

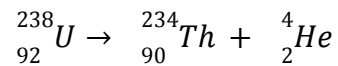
1. Alfa ( $\alpha$ ): emissão de um núcleo de hélio (dois prótons e dois nêutrons);
2. Beta ( $\beta^-$ ): emissão de um elétron;
3. Gama ( $\gamma$ ): emissão de radiação eletromagnética de alta energia.

A seguir, estão representados exemplos sobre os tipos de radiação citados:

### 1. Radiação Alfa ( $\alpha$ )

A radiação alfa consiste na emissão de partículas compostas por dois prótons e dois nêutrons — correspondendo ao núcleo do átomo de hélio-4  $\left( {}^4_2\text{He} \right)$ . Esse tipo de decaimento é característico de núcleos pesados e resulta na formação de um novo elemento com número atômico reduzido em 2 unidades e número de massa reduzido em 4 unidades (KRANE, 1988).

Exemplo:

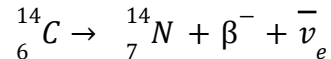


Neste processo, o urânio-238 decai em tório-234 (Th), emitindo uma partícula alfa ( ${}_2^4\text{He}$ ). Esse tipo de radiação possui alto poder de ionização, mas baixo poder de penetração, sendo facilmente bloqueada por uma folha de papel ou pela epiderme humana.

## 2. Emissão Beta ( $\beta$ )

A emissão beta negativa ocorre quando um nêutron se transforma em um próton, emitindo um elétron ( $\beta^-$ ) e um antineutrino eletrônico ( $\bar{\nu}_e$ ). Esse processo aumenta o número atômico em uma unidade, sem alterar a massa total do núcleo (KRANE, 1988).

Exemplo:

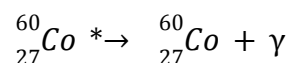


Neste exemplo, o carbono-14 sofre decaimento beta e se transforma em nitrogênio-14. A radiação beta apresenta poder de penetração maior que a alfa, sendo detida por materiais como alumínio fino ou placas plásticas espessas (KRANE, 1988).

## 3. Radiação Gama ( $\gamma$ )

A radiação gama corresponde à liberação de fótons de alta energia (radiação eletromagnética) por um núcleo que se encontra em estado excitado. Esse tipo de emissão geralmente acompanha os decaimentos alfa ou beta, permitindo que o núcleo atinja um estado de menor energia. Não há alteração no número atômico nem no número de massa do elemento (KRANE, 1988).

Exemplo:



Neste caso, o cobalto-60 em estado excitado (\*) libera um fóton gama e retorna ao seu estado fundamental. A radiação gama apresenta alto poder de penetração, sendo necessário o uso de barreiras densas, como chumbo ou concreto, para sua atenuação (KRANE, 1988).

Como explica Krane (1988), cada tipo de decaimento tem suas características e ocorre em determinados tipos de núcleos instáveis. O conceito de meia-vida é essencial para entender a taxa com que esse processo ocorre. A meia-vida é o tempo necessário para que metade da amostra de um isótopo radioativo se desintegre. Elementos como o urânio-238, com meia-vida de 4,5 bilhões de anos, e o carbono-14, com 5730 anos, são exemplos didáticos frequentemente utilizados.

Na terceira parte da aula, será feita uma demonstração de cálculo da meia-vida, utilizando a fórmula:

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

onde:

- N é a quantidade de material restante;
- $N_0$  é a quantidade inicial;
- t é o tempo decorrido;
- T é a meia-vida do elemento.

Esse cálculo será contextualizado com o caso da cidade de Pripjat, localizada próxima à usina de Chernobyl, onde a liberação de material radioativo deixou resíduos com longas meias-vidas, o que torna a área inabitável por séculos.

Após o acidente nuclear de Chernobyl (1986), a cidade vizinha de Pripjat foi evacuada por conta da presença de materiais como o Césio-137 (Cs-137) e o Estrôncio-90 (Sr-90), ambos com meia-vida de cerca de 30 anos. Isso significa que mesmo passadas décadas, ainda resta material perigoso no solo e no ambiente. Usando a fórmula anterior, temos que:

O acidente de Chernobyl ocorreu em 26 de abril de 1986. Se estamos em 2025, então:

$$t = 2025 - 1986 = 39 \text{ anos}$$

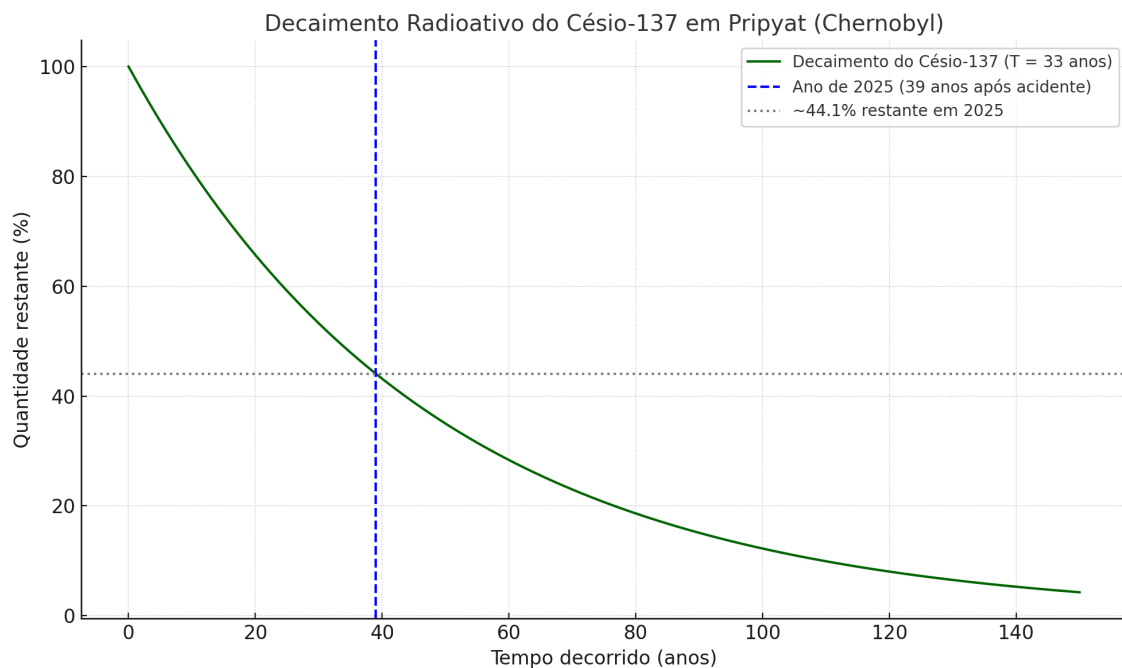
Usando os seguintes dados:

- Material: Césio-137
- $N_0 = 100$  unidades (suponhamos 100 g de material para facilitar)
- $T \approx 33$  anos
- $t = 39$  anos (tempo desde o acidente até hoje: 2025 - 1986)

Logo, temos:

$$N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{39}{33}} = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{1,18} \approx 44,1$$

Isso significa, que após 39 anos, ainda existe cerca de 44,1% do Césio-137 inicial. O gráfico a seguir mostra como a quantidade de Césio-137 decai ao longo do tempo, com destaque para o ponto referente ao ano de 2025 (39 anos após o acidente de Chernobyl). Como pode ver, ainda restam cerca de 44,1% do material radioativo, o que justifica a inabitabilidade prolongada da região.



**Fonte:** o autor.

Por fim, será feita uma conexão entre o decaimento radioativo e a famosa equação de Einstein,  $E = mc^2$ , que expressa a equivalência entre massa e energia. A desintegração de núcleos atômicos leva à liberação de energia justamente pela conversão de uma pequena quantidade de massa em energia, como bem explicado por Tipler e Mosca (2009). Essa ideia ajuda os alunos a perceberem que, mesmo em processos naturais como o decaimento radioativo, existe um ganho energético significativo, com aplicações que vão da medicina à geração de energia.

## REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

BROWN, Theodore L.; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E. **Química**: a ciência central. 10. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

KRANE, K. S. **Introductory Nuclear Physics**. New York: John Wiley & Sons,. 1988. • MENEZES, D. P. Introdução à Física Nuclear e de Partículas Elementares.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**. Vol. 3. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

### **AULA 03 - OS EQUIPAMENTOS QUE USAM OS CONHECIMENTOS DE FÍSICA NUCLEAR.**

A aula tem início com a retomada do conceito fundamental da fissão nuclear, explicando o processo de divisão do núcleo atômico instável, que libera grande quantidade de energia. Conforme Krane (2001), a fissão ocorre quando um nêutron incide sobre um núcleo pesado, como o urânio-235, provocando sua divisão em núcleos menores e liberando energia e mais nêutrons, o que pode desencadear uma reação em cadeia. Esse fenômeno é a base tanto para a geração de energia em usinas nucleares quanto para a fabricação de armas nucleares.

Para exemplificar os impactos reais da energia nuclear, será apresentado o mini-documentário “Fukushima: terremoto, tsunami e acidente nuclear” (2019), que ilustra as consequências de um acidente nuclear, conectando conceitos físicos a situações sociais e ambientais.

Na sequência, uma apresentação de slides destacarão equipamentos de uso cotidiano que dependem de descobertas e tecnologias derivadas dos estudos da física nuclear. Isso inclui detectores de fumaça, equipamentos de esterilização hospitalar, aparelhos de imagem médica e dispositivos industriais, entre outros. Segundo Ferrari (2007), essas aplicações exemplificam como o conhecimento nuclear se expandiu para além do campo militar e energético, impactando positivamente a saúde, a indústria e o meio ambiente.

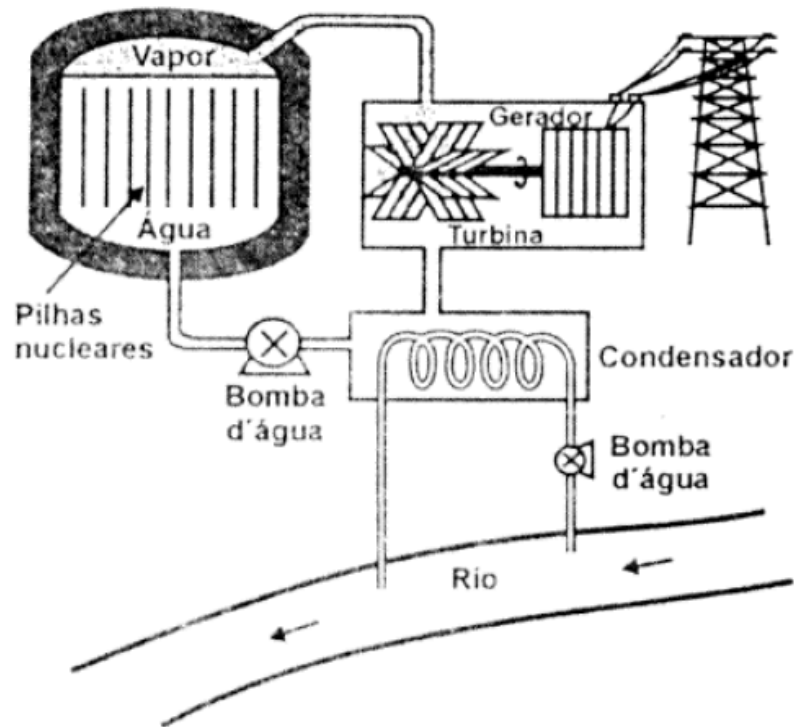
Por fim, o vídeo “Acelerador linear por Academia de Radiologia” (2019) será utilizado para explicar o funcionamento do tratamento de radioterapia, que utiliza feixes de radiação para destruir células tumorais. Conforme enfatiza Gowda (2015), o acelerador linear (LINAC) gera radiação de alta energia que pode ser direcionada com precisão, minimizando danos aos tecidos saudáveis. Essa aplicação clínica da física nuclear demonstra a relevância social da ciência, promovendo saúde e qualidade de vida.

### **REFERÊNCIAS**

- FERRARI, Ana Maria. **Energia Nuclear: do átomo à sociedade**. São Paulo: Scipione, 2007.
- GOWDA, S. **Radiation Physics for Medical Physicists**. New York: Springer, 2015.
- KRANE, Kenneth S. **Física Nuclear e de Partículas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## APÊNDICE D – AVALIAÇÃO FINAL

**1 - (ENEM-2000)** A energia térmica liberada em processos de fissão nuclear pode ser utilizada na geração de vapor para produzir energia mecânica que, por sua vez, será convertida em energia elétrica. Abaixo está representado um esquema básico de uma usina de energia nuclear.



Com relação ao impacto ambiental causado pela poluição térmica no processo de refrigeração da usina nuclear, são feitas as seguintes afirmações:

- I. o aumento na temperatura reduz, na água do rio, a quantidade de oxigênio nela dissolvido, que é essencial para a vida aquática e para a decomposição da matéria orgânica.
- II. o aumento da temperatura da água modifica o metabolismo dos peixes.
- III. o aumento na temperatura da água diminui o crescimento de bactérias e de algas, favorecendo o desenvolvimento da vegetação.

Das afirmativas acima, somente está(ão) correta(s):

- a) I. b) II. c) III. d) I e II. e) II e III.

**2 - (ENEM-2003)** Na música "Bye, bye, Brasil", de Chico Buarque de Holanda e Roberto Menescal, os versos

"puseram uma usina no mar

talvez fique ruim pra pescar"

poderiam estar se referindo à usina nuclear de Angra dos Reis, no litoral do Estado do Rio de Janeiro. No caso de tratar-se dessa usina, em funcionamento normal, dificuldades para a pesca nas proximidades poderiam ser causadas

- a) pelo aquecimento das águas, utilizadas para refrigeração da usina, que alteraria a fauna marinha.
- b) pela oxidação de equipamentos pesados e por detonações que espantariam os peixes.
- c) pelos rejeitos radioativos lançados continuamente no mar, que provocariam a morte dos peixes.
- d) pela contaminação por metais pesados dos processos de enriquecimento do urânio.
- e) pelo vazamento de lixo atômico colocado em toneis e lançado ao mar nas vizinhanças da usina.

**3 - (ENEM-2004)** O debate em torno do uso da energia nuclear para produção de eletricidade permanece atual. Em um encontro internacional para a discussão desse tema, foram colocados os seguintes argumentos:

I. Uma grande vantagem das usinas nucleares é o fato de não contribuírem para o aumento do efeito estufa, uma vez que o urânio, utilizado como “combustível”, não é queimado mas sofre fissão.

II. Ainda que sejam raros os acidentes com usinas nucleares, seus efeitos podem ser tão graves que essa alternativa de geração de eletricidade não nos permite ficar tranquilos.

A respeito desses argumentos, pode-se afirmar que

- a) o primeiro é válido e o segundo não é, já que nunca ocorreram acidentes com usinas nucleares.
- b) o segundo é válido e o primeiro não é, pois de fato há queima de combustível na geração nuclear de eletricidade.
- c) o segundo é válido e o primeiro é irrelevante, pois nenhuma forma de gerar eletricidade produz gases do efeito estufa.
- d) ambos são válidos para se compararem vantagens e riscos na opção por essa forma de geração de energia.
- e) ambos são irrelevantes, pois a opção pela energia nuclear está se tornando uma necessidade inquestionável.

**4 - (ENEM-2005)** Um problema ainda não resolvido da geração nuclear de eletricidade é a destinação dos rejeitos radiativos, o chamado “lixo atômico”. Os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de serem, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas ou encerrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. A complexidade do problema do lixo atômico, comparativamente a outros lixos com substâncias tóxicas, se deve ao fato de

- a) emitir radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente.
- b) acumular-se em quantidades bem maiores do que o lixo industrial convencional, faltando assim locais para reunir tanto material.
- c) ser constituído de materiais orgânicos que podem contaminar muitas espécies vivas, incluindo os próprios seres humanos.
- d) exalar continuamente gases venenosos, que tornariam o ar irrespirável por milhares de anos.
- e) emitir radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

**5 - (ENEM-2006)** Para se obter 1,5kg do dióxido de urânio puro, matéria-prima para a produção de combustível nuclear, é necessário extrair-se e tratar-se 1,0 tonelada de minério. Assim, o rendimento (dado em % em massa) do tratamento do minério até chegar ao dióxido de urânio puro é de

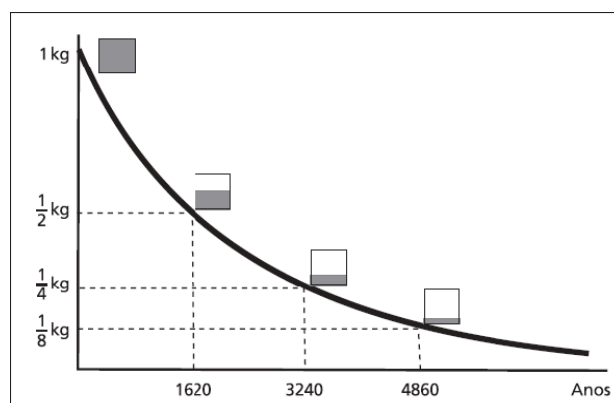
- a) 0,10%.    b) 0,15%.    c) 0,20%.    d) 1,5%.    e) 2,0%.

**6 - (ENEM-2006)** O funcionamento de uma usina nucleoeleétrica típica baseia-se na liberação de energia resultante da divisão do núcleo de urânio em núcleos de menor massa, processo conhecido como fissão nuclear. Nesse processo, utiliza-se uma mistura de diferentes átomos de urânio, de forma a proporcionar uma concentração de apenas 4% de material físsil. Em bombas atômicas, são utilizadas concentrações acima de 20% de urânio físsil, cuja obtenção é trabalhosa, pois, na natureza, predomina o urânio não-físsil. Em grande parte do armamento nuclear hoje existente, utiliza-se, então, como alternativa, o plutônio, material físsil produzido

por reações nucleares no interior do reator das usinas nucleoeletricas. Considerando-se essas informações, é correto afirmar que

- a) a disponibilidade do urânio na natureza está ameaçada devido à sua utilização em armas nucleares.
- b) a proibição de se instalarem novas usinas nucleoeletricas não causará impacto na oferta mundial de energia.
- c) a existência de usinas nucleoeletricas possibilita que um de seus subprodutos seja utilizado como material bélico.
- d) a obtenção de grandes concentrações de urânio fissil é viabilizada em usinas nucleoeletricas.
- e) a baixa concentração de urânio fissil em usinas nucleoeletricas impossibilita o desenvolvimento energético.

**7 - (ENEM-2009)** O lixo radioativo ou nuclear é resultado da manipulação de materiais radioativos, utilizados hoje na agricultura, na indústria, na medicina, em pesquisas científicas, na produção de energia etc. Embora a radioatividade se reduza com o tempo, o processo de decaimento radioativo de alguns materiais pode levar milhões de anos. Por isso, existe a necessidade de se fazer um descarte adequado e controlado de resíduos dessa natureza. A taxa de decaimento radioativo é medida em termos de um tempo característico, chamado meia-vida, que é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original. O gráfico seguinte representa a taxa de decaimento radioativo do rádio-226, elemento químico pertencente à família dos metais alcalinos terrosos e que foi utilizado durante muito tempo na medicina.



As informações fornecidas mostram que

- a) quanto maior é a meia-vida de uma substância mais rápido ela se desintegra.
- b) apenas 1/8 de uma amostra de rádio-226 terá decaído ao final de 4.860 anos.
- c) metade da quantidade original de rádio-226, ao final de 3.240 anos, ainda estará por decair.
- d) restará menos de 1% de rádio-226 em qualquer amostra dessa substância após decorridas 3 meias-vidas.
- e) a amostra de rádio-226 diminui a sua quantidade pela metade a cada intervalo de 1.620 anos devido à desintegração radioativa.

**8 - (ENEM-2011)** O acidente nuclear de Chernobyl revela brutalmente os limites dos poderes técnico-científicos da humanidade e as "marchas-à-ré" que a "natureza" nos pode reservar. É evidente que uma gestão mais coletiva se impõe para orientar as ciências e as técnicas em direção a finalidades mais humanas.

GUATTARI, F. As três ecologias. São Paulo: Papirus, 1995 (adaptado).

O texto trata do aparato técnico-científico e suas consequências para a humanidade, propondo que esse desenvolvimento

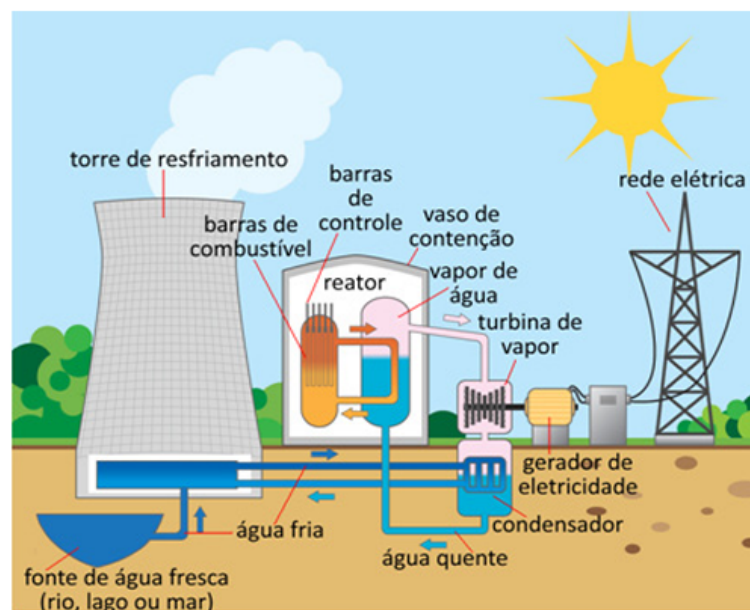
- a) defina seus projetos a partir dos interesses coletivos.
- b) guie-se por interesses econômicos, prescritos pela lógica do mercado.
- c) priorize a evolução da tecnologia, se apropriando da natureza.
- d) promova a separação entre natureza e sociedade tecnológica.
- e) tenha gestão própria, com o objetivo de melhor apropriação da natureza.

**9 - (ENEM-2023)** A utilização de tecnologia nuclear é um tema bastante controverso, por causa do risco de acidentes graves, como aqueles ocorridos em Chernobyl (1986), em Goiânia (1987) e em Fukushima (2011). Apesar de muitas desvantagens, como a geração de resíduos tóxicos, a descontaminação ambiental dispendiosa em caso de acidentes e a utilização em armas nucleares, a geração de energia nuclear apresenta vantagens em comparação a outras fontes de energia.

A geração dessa energia tem como característica:

- a) formar resíduos facilmente recicláveis.
- b) promover o aumento do desmatamento.
- c) contribuir para a produção de chuva ácida.
- d) emitir gases tóxicos que são lançados no ambiente.
- e) produzir calor sem o consumo de combustíveis fósseis

**10 - (Enem 2022 / PPL)** As usinas nucleares utilizam o princípio da fissão nuclear para gerar energia elétrica. Dentro do reator, nêutrons colidem com átomos de urânio, que se dividem em dois novos átomos, liberando de dois a três nêutrons do núcleo, em uma reação em cadeia. Esse processo libera muito calor, que é utilizado para gerar energia. Porém, é necessário um sistema de arrefecimento para evitar uma explosão. Para isso, a água captada de fontes naturais circula em um sistema fechado e depois volta para o meio ambiente .



Caso esse sistema não ocorra de maneira adequada, será gerado um impacto negativo porque

- a) produzirá gases tóxicos.
- b) diminuirá a reserva hídrica local.
- c) aquecerá os ecossistemas aquáticos.
- d) aumentará a disponibilidade de nutrientes.
- e) permitirá a contaminação por microrganismos.