



**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI-
UFVJM**

**DIRETORIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA-DEAD
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA/DEAD**

AMANDA FERREIRA ARAÚJO

**REFLEXÕES SOBRE ENERGIA NUCLEAR: RELATO DE EXPERIÊNCIA
APÓS EXIBIÇÃO DE FILME SOBRE CHERNOBYL EM SALA DE AULA.**

Materlândia

2024

AMANDA FERREIRA ARAÚJO

**REFLEXÕES SOBRE ENERGIA NUCLEAR: RELATO DE EXPERIÊNCIA
APÓS EXIBIÇÃO DE FILME SOBRE CHERNOBYL EM SALA DE AULA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Programa de Graduação em Educação da
Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Física.

Orientadora: Crislane de Souza Santos

Materlândia – MG

AMANDA FERREIRA ARAÚJO

**REFLEXÕES SOBRE ENERGIA NUCLEAR: RELATO DE EXPERIÊNCIA
APÓS EXIBIÇÃO DE FILME SOBRE CHERNOBYL EM SALA DE AULA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Programa de Graduação em Educação da
Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial
para obtenção do título de licenciada em Física.

Orientadora: Crislane de Souza Santos

Data de aprovação: ____/____/____

Crislane de Souza Santos

Diretoria de Educação Aberta e a Distância-DEAD/UFVJM

Patrick Alves Vizzotto

Diretoria de Educação Aberta e a Distância-DEAD/UFVJM

Olavo Cosme da Silva

Instituto de Ciência e Tecnologia- ICT/UFVJM

Materlândia-2024

Dedico este trabalho a Deus; sem ele eu não teria capacidade para desenvolver este trabalho. Aos meus familiares, pois é graças ao seu esforço que hoje posso concluir o meu curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais e ao meu amado filho Guilherme, que me incentivaram nos momentos mais difíceis e compreenderam a minha ausência.

Ao meu marido, que me acompanhou e apoiou incansavelmente em todas as fases. Sua paciência, compreensão e carinho foram fundamentais para que eu pudesse manter o equilíbrio emocional e alcançar a conclusão deste curso.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores que, com paciência e dedicação, acompanharam todo o processo de elaboração deste trabalho, fornecendo orientações valiosas e contribuindo para seu desenvolvimento.

Por fim, expresso minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, direta ou indiretamente. Este trabalho é o resultado de uma colaboração ampla e diversificada, e estou profundamente grato por todas as contribuições. Muito obrigada a todos!

RESUMO

A intenção deste trabalho surgiu de uma aula dada pela autora cujo tema abordava usinas nucleares, onde a curiosidade dos alunos despertou uma preocupação generalizada sobre a possibilidade de um acidente nuclear, e caso houvesse algum, qual seria as consequências para a população mais próxima assim como para as proximidades e demais povos que pudessem ser envolvidos. Os questionamentos surgiram a partir de discussões sobre as ameaças e receios a respeito do uso de armas nucleares em guerras que ocorrem atualmente entre os países Rússia e Ucrânia, daí o despertar dos alunos pelo risco de um acidente nuclear e consequências do mesmo. Mediante a tais questionamentos e seguindo a linha de estratégia ativas de aprendizagem, foi planejada pela autora deste trabalho uma aula temática sobre o acidente nuclear de Chernobyl, com o objetivo de exemplificar para os estudantes, os danos causados pela radiação nuclear. A atividade foi realizada em três etapas: sendo a primeira etapa, questionamentos aos alunos sobre o seu conhecimento a respeito de radiação nuclear, em seguida a exibição do vídeo abordando o acidente nuclear de Chernobyl e por fim uma discussão mediada pela autora a respeito das consequências, impactos do evento, como poderia evitá-lo, e principalmente, quais seriam as proporções de um acidente desta natureza nos dias atuais ou o uso de armas atômicas em guerras. Neste trabalho apresenta-se de forma sintetizada o relato de experiências dessa aula, os pontos positivos e negativos observados durante a execução da mesma, bem como um breve relato sobre a utilização das estratégias ativas de aprendizagem.

Palavras – chave: energia nuclear, acidente nuclear de Chernobyl, radiação nuclear, estratégias ativas de aprendizagem.

ABSTRACT

The intention of this work arose from a class given by the author, which addressed nuclear power plants. The students' curiosity sparked a widespread concern about the possibility of a nuclear accident and the potential consequences for the nearby population, as well as for the surrounding areas and other peoples that could be involved. The questions emerged from discussions about the threats and fears surrounding the use of nuclear weapons in the ongoing conflict between Russia and Ukraine, leading the students to focus on the risk of a nuclear accident and its consequences. In light of these questions and following the line of active learning strategies, the author of this work planned a thematic lesson on the Chernobyl nuclear accident, with the aim of providing students with examples of the damages caused by nuclear radiation. The activity was conducted in three stages: the first stage involved questioning the students about their knowledge of nuclear radiation; the second stage was the showing of a video covering the Chernobyl nuclear accident; and finally, there was a discussion mediated by the author regarding the consequences and impacts of the event, how such an accident could be avoided, and, importantly, the potential scale of an accident of this nature today or the use of atomic weapons in wars. This work presents a synthesized account of the experiences from this lesson, the positive and negative points observed during its execution, as well as a brief summary of the use of active learning strategies.

Keywords: Nuclear energy, Chernobyl nuclear accident, nuclear radiation, active learning strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Imagem da usina nuclear de Chernobyl gerada por inteligência artificial (DALL-E).....	12
Figura 02: turma do terceiro assistindo ao filme sobre o desastre ocorrido na usina nuclear de Chernobyl.....	22

LISTA DE SIGLAS

ESIII- Estágio Supervisionado para o Ensino de Física III.

URSS- União das Repúblicas Socialistas Soviéticas.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2-OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL:.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	4
3-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
3.1 – O QUE É UMA USINA NUCLEAR E SEU BENEFÍCIO	5
3.2 - CONTEXTO HISTÓRICO DE CHERNOBYL	7
3.3 – OS ERROS OCORRIDOS NO DESASTRE DE CHERNOBYL	13
3.4– CONSEQUÊNCIAS DA RADIAÇÃO EXPANDIDA NA ATMOSFERA	16
4– METODOLOGIA.....	17
4.1 - DESENVOLVIMENTO.....	18
4.2 - RESULTADO E DISCUSSÕES.....	20
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 – INTRODUÇÃO

O ensino de Física enfrenta inúmeros problemas e a falta de interesse pela disciplina talvez seja o maior deles. Contudo, a carência das estruturas das escolas, a pouca carga horária atribuída à disciplina, a baixa remuneração dos docentes e também a formação inadequada dos professores contribuem para a limitação e empobrecimento do ensino.

Segundo Moreira (2018) a formação dos docentes de Física apresenta-se centrada em um modelo de ensino tradicionalista que se concentra em memorização de formas e conceitos passados aos alunos por meio de aulas expositivas, as quais se resumem ao uso do livro didático, giz e lousa. Para esse autor, as dificuldades do ensino estão extremamente relacionadas às metodologias tradicionais de ensino. Já para Cavalcanti, Nascimento & Ostermann (2018), atribuir o fracasso escolar a apenas a má formação docente é inapropriada haja vista os inúmeros obstáculos e fatores que contribuem para os problemas educacionais do Brasil, tais como: infraestrutura das escolas, fatores socioeconômicos, má remuneração docente, entre outros. O fato é que as causas dos problemas da educação brasileira como um todo é um tema muito complexo e desafiador, uma vez que existem vários fatores que devem ser considerados bem como diversos ponto de vista de estudiosos dessa área.

Para Moreira (2021) a necessidade de mudanças no que se refere ao ensino de Física é gritante. O primeiro passo a ser dado seria na metodologia de ensino adotada pelo professor. Trazer para sala de aulas metodologias diferentes de ensino. Na literatura podemos encontrar propostas de metodologias de ensino aprendizagem as quais são apontadas como alternativas ao ensino tradicional. Entre elas, na área da Física podemos destacar: a) metodologias ativas de aprendizagem que engloba sala de aula invertida, aprendizagem baseada em problemas, ensino por investigação. b) metodologias CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), c) laboratório prático, d) aprendizagem colaborativa e) ensino em jogos e gamificação f) uso de tecnologias digitais. Tais metodologias apesar de estarem sendo amplamente estudadas, elas ainda não se difundiram pelo Brasil.

Segundo Moreira (2018) a dificuldade na aprendizagem do Ensino de Física é devido a utilização de metodologias tradicionais por parte dos docentes, que muitas vezes não possuem outra opção, uma vez que as condições de trabalho que lhes são oferecidas são precárias. Não lhes resta outra alternativa que não o tradicional uso da lousa e giz com enfoque em cálculos matemáticos. O resultado são aulas de Física maçantes e abstratas, focadas na memorização de fórmulas despertando nos alunos pensamentos, sentimentos e ações, na qual os alunos não gostam de Física.

É comum os estudantes, na maioria das vezes, classificarem a disciplina de Física como abstrata, difícil, cheia de cálculos matemáticos. E não conseguem enxergar a disciplina como ciência, sua importância e aplicabilidade. Frequentemente, quando se aborda alguns assuntos tecnológicos e científicos, como pertencentes ao arcabouço teórico da Física, muitos estudantes manifestam espanto. Cabendo ao docente estabelecer a ponte entre a teoria e a aplicabilidade cotidiana. E para tal, ele necessita de estar sempre se renovando e acompanhando não somente as tendências educacionais, mas também o contexto em sua volta. Buscando sempre que possível fazer o link entre temas atuais e a Física.

Um exemplo que podemos citar é a polêmica das armas nucleares. A humanidade recentemente voltou os olhos para a problemática das bombas atômicas, devido às ameaças feitas pela Rússia em relação ao uso dessas armas. A intensa cobertura midiática sobre as declarações desse país fez com que os temores vivenciados pela Ucrânia (país ao qual a Rússia declarou guerra em 2022) chegassem até nosso país e se tornassem assunto de nossas conversas cotidianas. É claro que nossos jovens, cada vez mais ativos e antenados, levaram grandes questionamentos e preocupações sobre o tema para a sala de aula. Fato que proporcionou uma grande oportunidade para chamar a atenção dos alunos para a disciplina de Física e fazer brotar neles o interesse pela ciência.

Para abordar esse tema tão importante e complexo foi pensado usar o que chamamos de estratégia ativa de aprendizagem. A qual é definida por Fernandes *et al* (2021) como:

...as estratégias de aprendizagem não são necessariamente Métodos (menos abrangente) ou Metodologias (mais abrangente), mas diferentes estratégias ou atividades que auxiliam os métodos e as metodologias ativas e/ou tradicionais. (Fernandes et al, 2021, p.15).

Sendo assim, foi planejada uma aula a qual abordasse o acidente nuclear de Chernobyl, fazendo uso de um filme sobre o tema, na intenção de exemplificar para os estudantes, as consequências, caso houvesse, uma explosão nuclear em uma usina nuclear ou a explosão de uma ogiva nuclear.

A escolha em específico de abordar esse acidente foi estratégica, para prender mais a atenção dos alunos, uma vez que a Usina de Chernobyl se localiza na Ucrânia, na cidade de Pripyat, a 16 quilômetros da cidade de Chernobyl.

A atividade foi realizada em três etapas: sendo a primeira etapa, questionamentos aos alunos sobre o seu conhecimento a respeito de radiação nuclear, em seguida a exibição do vídeo abordando o acidente nuclear de Chernobyl e por fim uma discussão mediada pela autora a respeito das consequências, impactos do evento, como poderia evitá-lo, e principalmente, quais seriam as proporções de um acidente desta natureza nos dias atuais ou o uso de armas atômicas em guerras.

Neste trabalho será apresentado um breve relato de experiência, frisando as principais impressões observadas pela autora a respeito do conhecimento adquirido sobre energia nuclear a partir da aula utilizando como tema o acidente nuclear de Chernobyl.

2-OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Analisar o entendimento dos estudantes sobre as consequências sociais, ambientais e de saúde pública decorrentes do desastre nuclear de Chernobyl, a partir de uma abordagem educacional que promova a reflexão crítica sobre a segurança nuclear e a responsabilidade ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Verificar as concepções que os discentes possuem acerca do conceito de energia nuclear;
- Realizar um estudo criterioso sobre o desastre de Chernobyl por meio de levantamento bibliográfico e histórico, incluindo notícias da época;
- Explicar os princípios básicos de geração de energia nuclear;
- Abordar as principais causas da explosão da usina de Chernobyl e as consequências geradas para população local e proximidades;
- Incentivar os alunos a fazer uma reflexão crítica a respeito do uso da energia nuclear como fonte de energia limpa e os riscos associados a desastres;
- Estimular os alunos a debater alternativas energéticas que podem complementar ou substituir a energia nuclear em termos de sustentabilidade e segurança.

3-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos, como por exemplo: a definição de energia nuclear, e também uma síntese da pesquisa bibliográfica e histórica sobre o acidente nuclear de Chernobyl com o intuito de contextualizar o leitor a respeito do tema escolhido como base para a aula.

3.1 – O QUE É UMA USINA NUCLEAR E SEU BENEFÍCIO

Uma usina nuclear é uma instalação onde ocorre a geração de energia termoeletrônica por meio do processo de fissão nuclear e produção de vapor d'água, responsável pelo acionamento das turbinas geradoras. A fissão acontece no núcleo do reator nuclear, dispositivo de maior importância de uma usina. Ele fica armazenado em um recipiente seguro de concreto e aço, e é nele que estão as barras de combustível (urânio) responsáveis pela reação.

As usinas nucleares surgiram como fontes de energia e contribuíram com um percentual considerável neste setor. Segundo Souza (2022):

As usinas nucleares são responsáveis por cerca de 10% do suprimento de energia elétrica em todo o mundo e são alternativas viáveis para a substituição de fontes de combustíveis fósseis, uma vez que produzem quantidades muito baixas de gás carbônico. A comunidade científica tem pesquisado bastante ao longo dos últimos anos como aprimorar: técnicas de produção de energia nuclear, procedimentos de segurança e deposição de rejeitos nucleares (SOUZA, 2022, p.8).

Lima *et al* (2020) relata que

As usinas nucleares têm participação importante na produção de energia elétrica para o consumo populacional. Diferentemente da queima de combustíveis fósseis, o processo de fissão nuclear não gera gás carbônico, que é um dos principais causadores do efeito estufa. Todo resíduo produzido em uma usina nuclear permanece nela até que este decaia o suficiente a ponto de

receber um descarte correto, logo a energia nuclear é uma fonte limpa e segura (LIMA *et al*, 2020, p.3).

Suguimoto e Castilho (2014) afirmam que as usinas nucleares não apenas produzem energia, mas também consomem para acionar as bombas responsáveis pela circulação do refrigerante que vai para o núcleo e sistemas auxiliares. Se uma usina está acima de 20% de produção ela própria se mantém, quando está abaixo deste valor precisa de energia externa.

De acordo com Lima *et al* (2020),

Os desastres ocorridos em usinas nucleares são geralmente provocados por falha humana, mas um ponto de risco é a ação direta de eventos causados pela natureza. As usinas enfrentam ainda grande dificuldade em solucionar o problema do armazenamento dos resíduos radioativos, afinal não se sabe precisar o tempo que eles continuarão emitindo radiação e por quanto tempo irão necessitar de contenção (LIMA *et al*, 2020, p. 2).

Ainda de acordo com Lima *et al* (2020),

Esta radiação é liberada pelos átomos na forma de ondas eletromagnéticas ou partículas. A desintegração espontânea dos átomos é chamada de radioatividade, e o excesso de energia emitida é uma forma de radiação ionizante. As pessoas estão expostas a fontes artificiais e naturais, diariamente. A radiação natural vem de muitas fontes, que podem ser encontradas no solo, na água e no ar (LIMA *et al*, 2020, p. 2).

Lima *et al* (2020), afirma que

Existe uma abundante reserva de urânio (fonte primária para a produção da energia nuclear) no planeta e, embora esta quantidade seja o suficiente para a produção sustentável de energia durante séculos, a extração desse elemento não é a única forma de se obter tal combustível, existem também as

fontes secundárias como, estoques civis e militares, reprocessamento do urânio já utilizado, entre outros (LIMA *et al*, 2020, p.3).

As usinas nucleares no quesito fonte de energia, segundo os autores mencionados acima é viável, contudo requer constante atenção para evitar problemas e/ou acidente nucleares. A seguir será apresentado um pouco do contexto histórico em torno de Chernobyl antes de ocorrer o acidente.

3.2 - CONTEXTO HISTÓRICO DE CHERNOBYL

Na década de 1980, a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) era uma superpotência mundial, sob o comando do Partido Comunista. O país enfrentava desafios econômicos, sociais e políticos significativos, apesar de seu status de liderança global durante a Guerra Fria. O governo soviético mantinha uma economia centralmente planejada e investia fortemente em áreas estratégicas, como a indústria militar, a exploração espacial e a energia nuclear, na tentativa de fortalecer sua posição internacional e fornecer infraestrutura adequada para sua vasta população.

Politicamente, o país vivia sob um regime rígido, com controle estatal sobre a mídia e repressão de dissidentes. No entanto, surgiram movimentos internos de reforma, que culminaram na Perestroika e Glasnost, políticas introduzidas por Mikhail Gorbachev em meados da década. Esses desafios criaram um ambiente de tensão interna que contrastava com a imagem externa de uma potência invencível. O acidente de Chernobyl em 1986 exemplificou as fraquezas do sistema soviético, revelando problemas na infraestrutura nuclear e no gerenciamento de crises, enquanto o governo tentava, inicialmente, ocultar a gravidade da situação.

Durante esse período, a energia nuclear era vista como uma solução promissora para atender à crescente demanda por eletricidade e apoiar o crescimento econômico. A URSS investiu massivamente na construção de

usinas nucleares, considerando essa tecnologia como uma forma moderna e eficiente de gerar energia em larga escala, sem depender de combustíveis fósseis. A Usina de Chernobyl, inaugurada em 1977, fazia parte desse esforço, com quatro reatores em funcionamento antes do desastre de 1986.

Além dos desafios econômicos e sociais enfrentados pela União Soviética na década de 1980, o contexto político também era marcado por tensões internas e externas. A URSS mantinha um papel central na Guerra Fria, rivalizando com os Estados Unidos em termos de influência global, poder militar e avanços tecnológicos. O confronto ideológico entre o capitalismo e o socialismo moldava as políticas soviéticas, com um forte investimento em áreas como o armamento nuclear, corrida espacial e apoio a regimes comunistas em diversas partes do mundo, especialmente em países do Leste Europeu, Ásia, África e América Latina.

No entanto, o modelo econômico central planejado estava em crise. O sistema de planejamento, caracterizado pela alocação de recursos de forma burocrática e ineficiente, resultava em escassez de bens de consumo, baixa qualidade de produtos, atrasos em inovações tecnológicas e infraestrutura obsoleta. Enquanto o país priorizava o desenvolvimento de setores estratégicos como a defesa e a energia nuclear, o setor agrícola e as indústrias de bens de consumo enfrentavam severos problemas de produtividade.

Socialmente, o descontentamento da população com a falta de liberdade, a repressão política e as condições de vida precárias cresciam. As elites políticas mantinham um controle rígido sobre a sociedade, utilizando mecanismos de censura, vigilância e repressão para suprimir dissidências. No entanto, durante os anos 1980, movimentos de resistência começaram a ganhar força, principalmente em nações satélites do bloco soviético, onde havia um desejo crescente por reformas democráticas e independência.

O governo de Mikhail Gorbachev, a partir de 1985, buscou enfrentar esses desafios com a implementação de duas reformas principais: a Perestroika (reestruturação econômica) e a Glasnost (transparência política). A Perestroika visava modernizar a economia, introduzindo elementos de mercado,

descentralização e estímulo à eficiência. Já a Glasnost promove maior abertura política, liberdade de expressão e transparência governamental. Essas políticas, no entanto, desencadearam uma série de consequências inesperadas, como a intensificação de movimentos separatistas e a erosão do poder central.

O acidente nuclear de Chernobyl em 1986 foi um dos maiores desastres da época e revelou de forma dramática as falhas da administração soviética. A catástrofe, inicialmente encoberta pelo governo, expôs a incompetência burocrática, a falta de transparência e a ineficiência das respostas estatais a crises. A explosão no reator nuclear nº 4 lançou grandes quantidades de radiação na atmosfera, afetando a saúde de milhões de pessoas na URSS e em outros países da Europa. A resposta lenta e mal organizada do governo minou ainda mais a confiança do povo soviético nas autoridades e deu visibilidade à fragilidade do regime.

O impacto global do acidente de Chernobyl também teve consequências políticas. A pressão internacional sobre a URSS aumentou, exigindo maior transparência e responsabilidade. Internamente, Gorbachev utilizou o incidente como uma justificativa para acelerar suas reformas, argumentando que o país precisava de mudanças profundas para evitar futuros desastres. No entanto, ao longo dos anos seguintes, as reformas de Gorbachev não conseguiram revitalizar a economia nem conter a insatisfação crescente, o que contribuiu para o colapso da União Soviética em 1991.

Em resumo, a década de 1980 na União Soviética foi marcada por tensões profundas em diversos níveis — uma superpotência militar e nuclear, mas uma nação enfraquecida economicamente e em crise interna. O acidente de Chernobyl foi um ponto crucial que evidenciou os limites do poder soviético, acelerando o processo de colapso que ocorreria no início dos anos 1990.

Nos anos finais da década, o então líder soviético Mikhail Gorbachev tentou introduzir reformas através das políticas de Glasnost (transparência) e Perestroika (reestruturação), em uma tentativa de revitalizar a economia e permitir maior liberdade de expressão. No entanto, essas reformas vieram tarde demais para salvar a União Soviética, que se desintegrou em 1991.

O acidente de Chernobyl, ocorrido em 26 de abril de 1986, foi um dos piores desastres nucleares da história. Aconteceu na Usina Nuclear de Chernobyl, localizada perto da cidade de Pripyat, na Ucrânia (então parte da União Soviética). Durante um teste de segurança no reator número 4, uma combinação de falhas humanas e técnicas levou a uma explosão, liberando grandes quantidades de radiação na atmosfera.

Na época, a usina nuclear era crucial para a produção de energia, refletindo a importância da energia nuclear no fornecimento de eletricidade de forma eficiente. A União Soviética investiu fortemente nessa tecnologia, que era vista como uma forma moderna e poderosa de gerar energia para indústrias e cidades.

O acidente teve um impacto ambiental e humano devastador, com milhares de pessoas sendo evacuadas e consequências de saúde duradouras, além de aumentar a preocupação global com a segurança da energia nuclear.

O acidente de Chernobyl aconteceu às 1h23min47s, portanto na madrugada do dia 26 de abril de 1986. Esse acidente aconteceu no reator 4 da usina de Chernobyl e foi resultado de falha humana, uma vez que os operadores do reator descumpriram diversos itens dos protocolos de segurança. Além disso, foi apontado posteriormente que os reatores RBMK (usados em Chernobyl e em outras usinas soviéticas) tinham um grave erro no seu projeto, o qual permitiu que o acidente acontecesse.

Segundo Souza (2022),

Além das deficiências dos modelos russos dos reatores, outro fator foi determinante para a explosão da Unidade 4 de Chernobyl, em 26 de abril de 1986. Os chefes de operação da planta decidiram realizar um teste de segurança, cuja premissa era verificar se, em uma situação de desligamento do reator, as turbinas em movimento desacelerado poderiam gerar energia suficiente para abastecer os sistemas de emergência do reator até que os geradores a diesel comesçassem a operar, o que demorava cerca de um minuto para acontecer. Em uma situação real, caso a usina perdesse conexão com a energia externa (*off-*

site power), os reatores seriam desligados imediatamente. Mas as turbinas continuariam a girar por algumas horas, sendo capazes de produzir energia elétrica. Então, para simular esse evento, a potência do Reator 4 seria reduzida e as condições de operação das turbinas e geradores seriam avaliadas (SOUZA, 2022, p. 35).

Ainda segundo Souza (2022),

Esse mesmo teste foi realizado um ano antes do acidente, mas não obteve resultados conclusivos, pois a turbina havia perdido potência muito rapidamente, então uma nova configuração no regulador de voltagem seria testada (WNA, 2022c). O sistema emergencial de refrigeração do núcleo do reator (ECCS, *Emergency Core Cooling System*), que provê água para resfriar o reator em uma emergência, foi desligado para que o teste fosse realizado. Apesar de não ter afetado consideravelmente os eventos que se seguiram, a exclusão desse sistema de emergência durante toda a execução do teste foi uma atitude negligente com relação aos procedimentos de segurança (SOUZA, 2022, p. 35).

O mesmo autor ainda faz uma consideração importante, onde menciona que o acidente foi deflagrado em um teste de segurança, cujos procedimentos padrões são definidos, escritos e, em certa medida, seguidos pelos operadores. Porém, as orientações não previam algumas variações no decorrer do teste como, por exemplo, o tempo de espera de 10 horas entre a primeira e a segunda redução de potência, o acúmulo de xenônio-135 no sistema ou a queda de potência do reator para valores menores que 500 MWt. Dessa forma, a importância do uso de ambientes de simulação adequa-se ao contexto da segurança de usinas nucleares, uma vez que os simuladores possibilitam a avaliação de possíveis cenários dos processos em uma indústria e permitem explorar situações adversas, incidentes e acidentes dentro da realidade operacional de uma planta de energia nuclear.

Abaixo, segue uma imagem que foi usada como demonstração na aula e chamou a atenção dos alunos para o tema. Ela mostra uma representação visual da Usina Nuclear de Chernobyl após um ataque militar, capturando o cenário de devastação recente.



Figura 01- Representação artística do cenário da usina nuclear de Chernobyl.
Fonte: inteligência artificial (DALL-E)

A imagem foi gerada utilizando inteligência artificial (DALL-E) e não é baseada em uma fotografia real, mas sim em uma representação artística do cenário da usina nuclear de Chernobyl após um ataque militar. Ela mostra estruturas danificadas, fumaça e veículos militares nas proximidades, com um ambiente sombrio e o sarcófago do Reator 4 intacto, mas ameaçado, refletindo os riscos potenciais em um cenário de conflito. Esta criação artística busca transmitir os impactos que um evento desse tipo poderia causar, baseado em informações disponíveis e não em imagens reais.

3.3 – OS ERROS OCORRIDOS NO DESASTRE DE CHERNOBYL

Nesta subseção, apresentaremos a contextualização dos fatos que levaram ao desastre de Chernobyl.

Lima *et al* (2020) apud Dupuy (2020) relata que

A usina de Chernobyl fica ao lado da cidade de Pripjat, em território da União Soviética, onde hoje fica a Ucrânia. Pripjat foi construída para que os trabalhadores da usina de Chernobyl morassem com suas famílias, com capacidade para 50.000 pessoas, mas hoje pertence a zona de exclusão que rodeia a usina nuclear de Chernobyl (LIMA *et al*, 2020 apud DUPUY, 2020, p. 4).

Lima *et al* (2020) apud Oliveira (1986) afirma que

No dia 25 de abril de 1986 o reator 4 seria desligado para manutenção, o desligamento seria útil para a realização de testes que indicariam se o gerador do reator teria capacidade para gerar energia o suficiente para que as bombas de água continuassem funcionando em caso de perda do suprimento externo de energia. A potência de saída do reator 4 foi diminuída ao extremo perto do mínimo de energia recomendado por segurança (LIMA *et al*, 2020 apud OLIVEIRA, 1986, p. 4).

Segundo Sugimoto e Castilho (2014),

O ponto principal era saber se as turbinas conseguiriam alimentar as bombas de refrigeração do núcleo por inércia no tempo mínimo de 40 segundos até que as bombas a diesel fossem ligadas. A melhor maneira de fazer este procedimento

seria o desligamento do reator, pois o mesmo tinha que ser operado por controles manuais. Em circunstâncias normais o sistema automático não tinha a programação para execução de tal manobra. Os operadores sabiam que uma parada total levaria dias para religar completamente o reator, devido ao fenômeno de envenenamento por xenônio 135, essa atitude auxiliou a gerar o acidente (SUGUIMOTO e CASTILHO, 2014, p. 4).

Ainda segundo Suguimoto e Castilho (2014),

O experimento que estava prestes a ser feito foi realizado no pior momento, pois vários pontos cruciais que levariam a instabilidade estavam prontos para entrar em choque, tais como: todos os sistemas de segurança foram desligados, a barra de combustível estava em seu ciclo final, neste momento a falta de resfriamento ficou mais perigosa já que o produto da fissão no final de ciclo gerou uma quantidade maior de calor e ficou altamente instável. O período final do combustível é onde tem maior acúmulo de resíduo nuclear, resultado da fissão do urânio, com isso o risco de vazamento também aumentou (SUGUIMOTO e CASTILHO, 2014, p. 4).

O mesmo autor ainda relata que inicialmente os testes estavam programados para começar à 1h da madrugada do dia 25 de 1983. Às 14h houve o que se pode considerar como um dos pontos cruciais no acidente, o desligamento do sistema de resfriamento de emergência o que evitava seu funcionamento durante os testes. No mesmo momento houve um aumento na demanda de energia adiando o teste para o próximo turno. Às 00h houve a troca dos 256 funcionários para grupo da noite que assumiria a usina, o sistema de emergência continuava desativado. A potência na madrugada do dia 25 estava em 3.200MWh e foi reduzida até 1.600KWh. Manteve-se esta situação até às 00h005min do dia 26, ocasião em que foi reduzida para 720M Wth e continuava diminuindo. Segundo o relatório para execução dos procedimentos, a potência segura do reator para execução seria de 700 MWh a 1.000MWh. Por ordem do engenheiro supervisor Anatoly Dyatlov Stepanovich, responsável pelo procedimento, o reator teria sua potência diminuída em até 200 MW para dar

início aos testes. O operador responsável pela potência não conseguiu operar o sistema com a destreza necessária para balancear a força do reator, caindo para 30 MWh, nesse momento começou o processo de envenenamento por xenônio 135.

Este mesmo autor ainda cita que o reator não respondia de forma eficiente e o controlador não conseguia elevar a potência devido ao envenenamento, pois a atitude feita contrariava todas as normas de segurança. O reator possuía um total de 211 barras de controle, mas o máximo de barras que poderia ser removida seria de 181, porém foram deixadas pelo operador apenas 6. Optou-se pela remoção das barras de controle, aumentando a potência do reator entrando num regime de funcionamento instável, com risco de sofrer elevações incontroláveis de potência.

Segundo Pizzinga (2020), neste caso de Chernobyl, usava-se o reator RBMK (*Reaktor Bolshoy Moshchnosty Kanalnyy*, russo para Reator Canalizado de Alta Potência), cujo núcleo não poderia explodir. No entanto, durante o teste de segurança, acontece exatamente o que não era esperado: sua explosão.

Souza *et al* (2014) afirma que

Com a alta temperatura no núcleo, o revestimento dos elementos combustíveis, zircônio, reagiu com o vapor, produzindo hidrogênio. O teto do reator já possuía, nessa altura, avarias que acabaram por permitir a mistura do hidrogênio com o ar atmosférico, causando 30 focos de incêndio. O grafite utilizado como moderador, incendiou-se soltando fumaça e produtos de fissão como lantânio-140; rutênio-103; cézio-137; iodo-131; telúrio-132; estrôncio-89; estrôncio-90 e ítrio-9. Marcava lh 23min e 48 s, quando ocorreu a explosão. A reação entre o vapor, grafite e zircônio, causou uma sequência de explosões. Ao todo 500 toneladas de combustível, 700 toneladas de grafite e gases radioativos foram lançados na atmosfera com um vazamento radioativo que durou 10 dias (SOUZA et al, 2014, p. 5).

Reis *et al* (2023) salienta que por causa da explosão, dois operadores da usina foram mortos e, a seguir, deu início ao incêndio no reator 4 que se prolongou por vários dias. Devido à explosão o reator nuclear ficou aparente, sendo assim, uma quantidade grande de material radioativo foi projetado na atmosfera.

Reis *et al* (2023) ainda salienta que com a expansão na atmosfera, a radiação alastrou-se pelo mundo. Ligeiramente, identificaram altos níveis de radiação na Polônia, Áustria, Suécia, Bielorrússia e até mesmo em lugares mais afastados, como por exemplo, Reino Unido, Estados Unidos e Canadá.

3.4– CONSEQUÊNCIAS DA RADIAÇÃO EXPANDIDA NA ATMOSFERA

Segundo Reis *et al* (2023) apud Krygiel (s.d.), A radiação quando não utilizada da forma adequada, ou gerado com por erro humano, acarreta consequentes riscos ao meio ambiente, bem como a saúde, exemplificando: câncer, mutações genéticas em humanos, plantas e animais.

Ainda segundo Reis *et al* (2023) o resultado das tais radiações é categorizado em agudos e crônicos. Os efeitos crônicos se exprimem com o tempo depois de uma exposição indireta, expressivamente de radiação. Por outro lado, os agudos são imediatos, como é o caso dos trabalhadores que estavam no momento do acidente, bem como os que vieram a óbito.

O mesmo autor ainda se refere aos danos causados pela radiação, quando cita que dentre os perigos da radiação, tem-se que a radiação é um meio de contágio de energia mediante o espaço, subdividido em duas: radiação eletromagnética e a radiação corpuscular. No tempo do decaimento radioativo, certas partículas extremamente energéticas, assim como, prótons, nêutrons, núcleos de hélio, elétrons e ondas eletromagnéticas, são emitidas em todo o espaço, sendo virtualmente fatais. A radiação ionizante é aquela que tem energia suficiente para remover elétrons dos átomos, criando então os íons, com alta capacidade de danos ao código genético das células. Esta radiação mata as

células ou até mesmo leva a alterações, afetando seu funcionamento ou replicação.

Não foi somente a exposição direta que atingiu as proximidades do reator 4, mas também uma ampla nuvem cheia de partículas e gases radioativos vazam do complexo de Chernobyl em virtude do incêndio originado pela fusão do reator. O que liberou vários gases na atmosfera, como o xenônio-133, iodo-131 ou o telúrio-132.

De acordo com Reis (2023), o que causou mais dano, por durar mais tempo, é o cézio-137, possuindo meia-vida aproximada em mais de 30 anos, tornando a região de Chernobyl sem condições para ser habitada por um período de tempo, entre 3.000 e 20.000 anos.

4– METODOLOGIA

A metodologia é a fase primordial para o desenvolvimento de um estudo científico. “O termo método constitui-se, (...), como o conjunto formado por estratégias e recursos, resultado dos ajustes sofridos em virtude da metodologia assumida e das condições concretas de sala de aula (...)” (ALVES & BEGO, 2020, p. 92).

Mediante o desafio abordar um assunto atual o qual em termos de conceitos se apresenta muito complexo, que requer uma matemática robusta, e que está diretamente relacionado com o contexto histórico, tecnológico, social e ambiental foi decidido que a melhor forma de trabalhar este tema seria fazendo uso da estratégia ativa de aprendizagem. Na qual objetiva-se abordagens participativas entre aluno-aluno, aluno-professor e aluno-conhecimento. Segundo Fernandes *et al* (2021):

... as estratégias ativas de aprendizagem são capazes de auxiliar e minimizar dificuldades da formação, reconhecidas pela efetividade em proporcionar experiências fluidas e concretas acerca do conhecimento (Fernandes *et al*, 2021, p.15).

Para execução deste trabalho foi realizado inicialmente um vasto estudo bibliográfico a respeito do tema, para servir como base para o planejamento da atividade. Foi pensado a melhor forma de realizar a transposição didática do tema, considerando a sua complexidade. A aula foi planejada para as turmas do 3º ano do Ensino Médio da Escola Estadual Raimundo Deco que, juntas, somavam 42 (quarenta e dois) alunos. Vale ressaltar que essas turmas eram uma das turmas as quais a autora deste trabalho estava realizando seu Estágio Supervisionado para o Ensino de Física III- ESIII.

A estratégia foi interativa e focada em manter os alunos engajados por meio de diferentes recursos, como vídeos, debates e atividades em grupo. Para enriquecer ainda mais, foi incluída uma atividade de reflexão em que os alunos discutem os impactos ambientais e sociais do acidente, assim como um debate sobre as lições aprendidas ou que pelo menos deveriam ser apreendidas pela humanidade para promover a segurança nuclear.

4.1 - DESENVOLVIMENTO

A dinâmica da atividade ocorreu da seguinte forma: iniciamos a aula ouvindo os questionamentos dos alunos a respeito de um possível acidente nuclear, mediante a atual situação que se encontra entre a Rússia e a Ucrânia. Neste momento destaca-se que foi permitido que os alunos falassem livremente sobre o assunto; com o intuito de conhecer o conhecimento prévio deles. Neste momento, foi percebido que muitos dos alunos possuíam um certo conhecimento a respeito da gravidade de um acidente nuclear. Contudo, os mesmos não tinham certeza de qual eram os objetivos de uma usina nuclear. Alguns alunos achavam que era nessas usinas que se fabricavam as tão temidas bombas nucleares. Depois de ouvir os alunos e sintetizar os questionamentos dos mesmos, passamos para a segunda fase da aula.

Nessa etapa foi apresentada uma breve exposição sobre a União Soviética na década de 1980, destacando o papel da energia nuclear no contexto global e dentro do planejamento econômico e político soviético. Foram utilizados slides com mapas para mostrar a localização da usina de Chernobyl e imagens da época para ilustrar a magnitude do empreendimento nuclear. Nesse momento

foi esclarecido aos alunos que tal empreendimento tinha como propósito a produção de energia e não a construção de bombas atômicas. Além disso, foi exibido um vídeo curto sobre como funcionam os reatores nucleares, preparando o terreno para esclarecer o tipo de reator que foi utilizado na usina de Chernobyl. Ressalta-se que apesar de não realizar uma abordagem profunda do ponto de vista matemático em relação ao tema, devido a sua complexidade, a todo momento foram feitos os links do conteúdo trabalhado com a Física. Explicando conceitos como a estrutura atômica, a fissão nuclear entre outros; com o objetivo de enfatizar a presença dessa ciência no nosso cotidiano, sua aplicabilidade e principalmente o quanto ela contribui para a evolução tecnológica.

A terceira parte da aula focou no acidente em si, detalhando as falhas ocorridas durante o teste de segurança realizado em 26 de abril de 1986. Apresentou-se uma explicação detalhada do ocorrido, fazendo uso de animações que mostram a sequência de eventos que levaram à explosão do reator 4 da usina nuclear de Chernobyl. Foram utilizados slides para destacar os principais erros cometidos, tanto técnicos quanto humanos, e como a estrutura do reator RBMK contribuiu para a tragédia.

O próximo passo foi abordar as consequências imediatas do acidente, como a evacuação de Pripjat, os efeitos da radiação sobre a saúde das pessoas, e o impacto no meio ambiente. Essa parte incluiu a exibição de um segundo vídeo curto, que mostrava imagens da cidade fantasma de Pripjat e depoimentos de sobreviventes. Também discutimos os efeitos de longo prazo, como o aumento dos casos de câncer e as zonas de exclusão que permanecem contaminadas até hoje.

Na sequência fizemos uma pausa para discutir com os alunos suas impressões, incentivando-os a refletir sobre os impactos ambientais e humanos de um evento como esse.

Finalizamos a atividade discutindo o legado de Chernobyl, incluindo as mudanças nas políticas de segurança nuclear ao redor do mundo. Foi abordado o papel da energia nuclear nos dias de hoje e como o acidente influenciou o debate sobre sustentabilidade energética. Fizemos um pequeno debate em

classe sobre os prós e contras da energia nuclear, com os alunos divididos em grupos para defenderem suas posições. Por fim, encerramos a aula revisando os principais pontos e destacando o impacto global do acidente. Como atividade final, foi solicitado aos alunos que realizassem a leitura de artigos sobre o tema e a visualização de documentários para complementar o conteúdo abordado.

4.2 - RESULTADO E DISCUSSÕES

As duas turmas do terceiro ano do ensino médio assistiram a uma versão condensada de um filme/documentário sobre o desastre de Chernobyl. Durante a exibição, foram apresentados detalhes sobre o funcionamento da usina nuclear, o erro humano que contribuiu para o acidente nuclear e as consequências imediatas e a longo prazo trazidas por esse acidente. Os alunos observaram cenas que mostravam as explosões, a exposição à radiação e o impacto sobre os trabalhadores da usina, os bombeiros e a população local.

Enquanto o filme era exibido, alguns alunos anotavam pontos importantes, como a sequência dos eventos, o papel da ciência na tentativa de conter o desastre e as medidas tomadas para minimizar o impacto da radiação. Apesar de ter sido solicitado que realizasse essa atividade, foi percebido uma grande aderência a ela.

No decorrer do filme, os alunos mostraram maior engajamento e interesse pelo tema, frequentemente expressando surpresa com a gravidade do desastre e suas consequências a longo prazo. Houve um aumento significativo no número de perguntas, demonstrando que o filme estimulou a curiosidade e a reflexão crítica. Muitos começaram a fazer conexões com questões ambientais e tecnológicas, como o gerenciamento de usinas nucleares e os riscos de acidentes similares no futuro. Fizeram também reflexos sobre a magnitudes das consequências, em um caso de uso de armas atômicas em conflitos entre os países detentores desta tecnologia.

Durante a fase de discussão em grupo e debate, os alunos comentaram sobre os erros que ocorreram durante o teste de segurança na usina e a

importância de seguir procedimentos rigorosos em ambientes de alto risco. Muitos expressaram choque em relação aos efeitos da radiação nas pessoas, incluindo bombeiros, moradores e trabalhadores, e como a desinformação na época agravou a situação. Discutiu-se a contaminação de áreas extensas e os efeitos duradouros na fauna e flora da região. Os alunos notaram como o sigilo do governo soviético retardou as ações.

O debate pós-filme foi intensificado durante uma roda de conversa, e revelou maior sensibilidade por parte dos alunos, que destacaram o impacto humano e ambiental do acidente. Observou-se um comportamento mais participativo, com discussões que abordaram tanto os aspectos éticos quanto os técnicos relacionados ao evento. Nessa etapa eles foram incentivados a expressar suas reações emocionais e refletir sobre as questões levantadas pelo filme.

A aula foi bem-sucedida em engajar os alunos, promovendo tanto a aquisição de conhecimento técnico quanto uma reflexão crítica sobre o uso da energia nuclear e suas consequências. O ambiente estava leve e descontraído. Foi observado o aumento do interesse dos alunos na atividade bem como a participação dos mesmos durante as discussões e debates. Percebeu-se também que os conceitos teóricos trabalhados durante a atividade foram assimilados pelos alunos. Uma vez que os mesmos foram utilizados durante o debate. As dúvidas prévias em relação ao propósito das usinas nucleares também foram sanadas. Contudo, também se notou que uma pequena parcela dos alunos estava dispersa durante a exibição do filme.

Abaixo, temos imagens dos alunos do 3º ano do Ensino Médio da Escola Estadual Raimundo Deco assistindo atentamente ao filme sobre o desastre ocorrido na usina Chernobyl.



Figura 02: turma do terceiro assistindo ao filme sobre o desastre ocorrido na usina nuclear de Chernobyl. Fonte: acervo pessoal da autora.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de toda informação até aqui exposta, pode-se concluir que apesar de todas as dificuldades encontradas pelos professores tanto em sala de aula como fora dela, a utilização de estratégias ativas de aprendizagem no ensino de Física contribui para a formação de estudantes mais engajados e críticos. Uma vez que essas estratégias promovem um aprendizado dinâmico e prazeroso. Pois o aluno passa a ser agentes ativos na construção do conhecimento. Contudo, a ideia de que uma metodologia de ensino aprendizagem utilizada em sala de aula será cem por cento eficaz é falha. O professor, como mediador entre o conhecimento e o aluno deve sempre está em busca de diversificar sua metodologia de ensino.

A partir da atividade realizada, vemos que ensinar sobre temas multidisciplinares e atuais que envolvem a sociedade e o ambiente amplia a compreensão sobre a interdependência entre ciência e a política. O acidente de Chernobyl é um exemplo de como esses eventos revelam que falhas na colaboração entre essas áreas podem gerar consequências devastadoras para o homem e a natureza.

No que se refere especificamente ao tema escolhido para a aula, podemos destacar as seguintes impressões: a estratégia ativa de aprendizagem permitiu que os alunos elaborassem reflexões sobre questões mais amplas que vão além da fatalidade do acidente da usina de Chernobyl. Tais como: o papel da energia nuclear no futuro energético global, a importância de regulamentações fortes e protocolos de segurança rigorosos, a necessidade de energia limpa com os riscos inerentes à tecnologia nuclear, etc. Em síntese, a atividade levou os alunos a construir uma perspectiva crítica sobre como as políticas energéticas devem ser projetadas com base em dados científicos e responsabilidade política.

As supracitadas reflexões proporcionam um ambiente propício para debates sobre ética na ciência e responsabilidade social no uso da tecnologia, preparando os alunos para pensar de maneira crítica e informada sobre os desafios atuais, que neste caso são os energéticos e ambientais do século XXI.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.; BEGO, A. M. **A celeuma em torno da temática do planejamento didático-pedagógico: Definição e caracterização de seus elementos constituintes.** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, p. 71-96, 2020.

CAVALCANTI, C.J.H; NASCIMENTO, M.M.; OSTERMANN, F. **A falácia da culpabilização do professor pelo fracasso escolar.** Revista *Tema*, v.15, 2018.

FERNANDES, G. R. F.; MARIANO, H. M.; SCHELINO, L. P. L.; ALLAIN, L.R. **Metodologias e Estratégias Ativas: um encontro com o Ensino de Ciências.** 1 ed. SP: Livraria da Física, 2021.

LIMA, I. H. S.; *et al.* **Acidente nuclear de Chernobyl: os efeitos biológicos da radiação.** Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernobiologicas/article/view/7992>. Acessado em outubro de 2024.

PIZZINGA, V. H. **Notas sobre Chernobyl: análise de alguns aspectos relacionados a situações de trabalho da usina nuclear de Pripyat.** Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext & pid=S1516-37172020000200003](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-37172020000200003). Acessado em outubro de 2024.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física. Estudos avançados**, v. 32, p. 73-80, 2018.

MOREIRA, M. A. **Desafios no ensino da física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, p. e20200451, 2021.

REIS, D. L.; *et al.* **Desastre ambiental de Chernobyl.** Disponível em: <https://reiva.unifaj.edu.br/reiva/article/download/445/238/1075>. Acessado em outubro de 2024.

SOUZA, D. C. B.; *et al.* **Chernobyl – o estado da arte.** Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/034/46034422.pdf. Acessado em outubro de 2024.

SOUZA, G. R. M.; **Abordagem investigativa sobre o acidente de Chernobyl.** Disponível em <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36107>. Acessado em outubro de 2024.

SUGUIMOTO, D. Y. L.; CASTILHO, M. A. **Chernobyl – a catástrofe.** Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4901240.pdf>. Acessado em outubro de 2024.