



INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA CAMPUS SOUSA  
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

**CARLOS EDUARDO NICIOLI**

**CONCEPÇÕES DOS ALUNOS DO CURSO TÉCNICO EM AGROPECUÁRIA  
DO IFPB – CAMPUS SOUSA SOBRE  
RADIOATIVIDADE.**

**SOUSA – PB  
2025**

**CARLOS EDUARDO NICIOLI**

**CONCEPÇÕES DOS ALUNOS DO CURSO TÉCNICO EM AGROPECUÁRIA  
DO IFPB – CAMPUS SOUSA SOBRE RADIOATIVIDADE.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à Coordenação do Curso Superior de Licenciatura em Química do Instituto Federal da Paraíba – Campus Sousa, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Dr. João Batista Moura de Resende Filho

SOUSA – PB

2025

### Dados internacionais de catalogação na publicação

N631c	Nicoli, Carlos Eduardo. Concepções dos alunos do curso técnico em agropecuária do IFPB - Campus Sousa sobre radioatividade / Carlos Eduardo Nicoli, 2025.  52 p.  Orientador: Prof. Dr. João Batista Moura de Resende Filho. TCC (Licenciatura em Química) - IFPB, 2025.  1. Radioatividade. 2. Concepções errôneas. 3. Desastres nucleares. 4. Ensino de radioatividade. 5. Tecnologias. I. Título. II. Resende Filho, João Batista Moura de.  IFPB Sousa / BS
	CDU 54



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CAMPUS SOUSA

ATA 12/2025 - CCSLQ/DES/DDE/DG/SS/REITORIA/IFPB

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**Título:** Concepções dos estudantes do curso técnico integrado em Agroindústria do IFPB, Campus Sousa, sobre radioatividade .

**Autor(a):** Carlos Eduardo Nicioli.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, como parte das exigências para a obtenção do título de Licenciado(a) em Química.

**Aprovado pela Comissão Examinadora em: 06/02/2025.**

**Dr. João Batista Moura de Resende Filho**

IFPB – Campus Sousa / Professor(a) Orientador(a)

**Dr. Carlos Alberto da Silva Júnior**

IFPB – Campus Sousa / Examinador(a) 1

**Ma. Valmiza da Costa Rodrigues Durand**

IFPB – Campus Sousa / Examinador(a) 2

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Batista Moura de Resende Filho**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/02/2025 21:02:32.
- **Valmiza da Costa Rodrigues Durand**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/02/2025 07:45:34.
- **Carlos Alberto da Silva Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2025 17:19:59.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 670068  
Verificador: c3a1b15ccb  
Código de Autenticação:



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me proporcionado a oportunidade de me tornar um docente. Em seguida, gostaria de agradecer à minha querida mãe Rita de Cássia, ao meu querido pai Francisco Jucelino e à minha irmã Ana Clara. Gostaria de agradecer a todos eles, pois são minha base.

Um agradecimento especial vai para a professora Dra. Geórgia Batista Vieira de Lima. Gostaria também de agradecer imensamente ao ex-diretor geral do IFPB, Campus Sousa, Francisco Cicupira de Andrade Filho (Chiquinho Cicupira), quem tem meu total respeito e admiração. Agradeço também ao atual diretor do Campus Sousa, Francisco Roserlândio Botão Nogueira (Chicão), por sua amizade e atenção comigo.

Gostaria de agradecer também à toda a Coordenação do Campus e aos funcionários terceirizados pela dedicação e compromisso com o Campus, em especial à Sra Maria, Raimunda e o Sr. Beré, que nesses anos todos se tornaram meus grandes amigos.

Em hipótese alguma poderei esquecer de agradecer ao assistente de alunos, Edvanildo Andrade, e também ao Sr. Iramirton de Assis Alves (padeiro), por proporcionar o melhor café do Campus. Enfim, não poderia deixar de agradecer ao corpo docente de todo o Campus Sousa, e aos do Curso de Licenciatura em Química. Em especial, ao coordenador Prof. Dr. João Batista Moura de Resende Filho, ao Prof. Dr. Higo de Lima B. Cavalcanti, à Profa. Ma. Valmiza Durand, e aos professores que são minhas referências: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Junior, Prof. Dr. Lech W. Soares, Profa. Dra. Glauciene Paula de Souza Marcone, Profa. Dra. Gicélia Moreira e Prof. Dr. Hermesson Jales Dantas.

Gostaria de agradecer a um grande amigo que sempre me incentivava a prosseguir, o Sr. Carlos (Carlão), vigia noturno do Campus Sousa, unidade de São Gonçalo. Também gostaria de agradecer a um grande amigo que me incentiva a permanecer firme na fé: o Sr. Jairo um grande amigo que sempre estava por perto para me auxiliar no que precisasse. Agradeço também aos meus queridos amigos Bolinha, Brunão (vigia noturno), Chagas (vigia noturno), Pedrinho (vigia noturno), Renan (vigia noturno), Josemar (Chefe de gabinete), Maria (bibliotecária), Milena, Milena (bibliotecária), Sr. Gerisvaldo, ao meu grande amigo Pe. Erivânio e a todos os meus amigos e amigas dos alojamentos masculino e feminino e quem tenho uma amizade de muito respeito.

“O futuro da humanidade está nas mãos daqueles que são capazes de transmitir às gerações do amanhã razões de vida e de esperança” (São João Paulo II)

## RESUMO

No componente curricular de Química existem temas de relações não só com a Ciência, mas também diretamente interligados com o modo de vida da sociedade. Um desses exemplos é a temática da radioatividade. Existe um estigma de que a radioatividade é algo ameaçador. Isso se dá por conta dos acontecimentos catastróficos ocorridos no século passado, que trouxeram consequências desastrosas para civilizações de outras nações e vítimas que habitavam próximo ou distante dos epicentros dos desastres. A radioatividade associada à tecnologia atômica foi utilizada nos equipamentos bélicos de Hiroshima e Nagasaki, bem como também nos armamentos de testes nucleares ocorridos no período da guerra fria. Sabe-se então que a radioatividade depende do modo de como ela é manipulada: se for utilizada para fins maléficos, o poder atômico pode ser devastador; mas, por outro lado, se for usado beneficentemente a mesma pode ser promissora para a sociedade em muitas funções. Esse trabalho objetivou analisar qualitativamente o conhecimento dos estudantes em sala de aula em relação ao tema da radioatividade. Essa metodologia foi aplicada na turma do 2º ano do ensino médio do Curso Técnico Integrado em Agropecuária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB – Campus Sousa, que conta com cerca de 27 alunos regularmente matriculados. Os resultados obtidos inicialmente constataram um grande déficit dos estudantes sobre conhecimentos básicos sobre essa temática, consequentemente apresentando assim concepções totalmente equivocadas a respeito da mesma .

Palavras chave; radioatividade; concepções errôneas; desastres nucleares: ensino de radioatividade; tecnologias.

## ABSTRACT

The Chemistry curricular component presents themes of relationships not only with Science, but also directly interconnected with society's way of life. One of these examples is the topic of radioactivity. There is a stigma that radioactivity is something threatening. This is due to the catastrophic events that occurred in the last century, which brought disastrous consequences for the civilizations of other nations and victims who lived near or far from the epicenters of the disasters. The radioactivity associated with atomic technology was used in the military equipment of Hiroshima and Nagasaki, as well as in the weapons of nuclear tests that took place during the Cold War. It is therefore known that radioactivity depends on the way in which it is manipulated: if it is used for harmful purposes, atomic power can be devastating; but, on the other hand, if used beneficially it can be promising for society in many functions. This work aimed to qualitatively analyze the knowledge of students in the classroom regarding the topic of radioactivity. This methodology was applied to the 2nd year high school class of the Integrated Technical Course in Agriculture at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Paraíba – IFPB – Campus Sousa, which has around 27 regularly enrolled students. The results obtained initially showed a great deficit among students regarding basic knowledge on this topic, consequently presenting completely mistaken conceptions regarding it.

Keywords; radioactivity; misconceptions; nuclear disasters: teaching about radioactivity; technologies.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
2.1 Geral	12
2.2 Específico	12
<b>3 JUSTIFICATIVA</b>	<b>13</b>
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>14</b>
4.1 O ensino da temática no ensino médio	14
4.2 Vozes do Passado: a descoberta da radioatividade	15
4.3 As pesquisas após a descoberta: de Thomson ao casal Curie	18
4.4 Contribuições de Ernest Rutherford	22
4.5 Primeiras utilizações	25
<b>4.6 Retrospectiva dos desastres nucleares</b>	<b>26</b>
4.6.1 As bombas sobre o Japão	26
4.6.2 A bomba atômica na guerra fria	31
4.6.3 Acidente de Windscale - Reino Unido	33
4.6.4 Acidente nuclear de Treere Mile Sland	34
4.6.7 Desastre nuclear de Chernobyl	36
4.6.8 O acidente radioativo de Goiânia	38
4.6.9 Acidente nuclear de Fukushima	40
<b>4.7 Utilização da radioatividade para o benefício da sociedade mundial</b>	<b>42</b>
<b>5 Metodologia</b>	<b>44</b>
<b>6 Resultados e discussões</b>	<b>46</b>
<b>7 Considerações finais</b> .....	
<b>Referências</b> .....	

## 1 INTRODUÇÃO

O uso das tecnologias modernas tem provocado nos últimos anos um acelerado desenvolvimento social (Almeida, 2018). Desde o pensamento científico estabelecido pela primeira vez por Tales de Mileto, o ser humano busca incansavelmente relacionar-se com a criação de novas tecnologias e descobertas científicas, que de algum modo trazem benefícios para a sociedade. As grandes descobertas realizadas pelos cientistas mostram que à medida que surgem os avanços tecnológicos na ampliação da área científica, novas modalidades de inovações e novos meios de vida surgem.

Desde o início da revolução industrial na Europa, novos avanços tecnológicos e inovadores impulsionam a malha da industrialização, promovendo um amplo crescimento na geração de diversos produtos provenientes de múltiplos setores que beneficiam a sociedade. Esse impulsionamento dos setores industriais durante o período da industrialização contribuíram para que pesquisas no campo científico crescessem de maneira ampla e significativa, surgindo então novas invenções e descobertas científicas importantes principalmente no campo da Física, Química, Medicina e outros. Com a ciência ganhando mais ainda o seu espaço na sociedade mundial, muitas descobertas foram alcançadas desde os primórdios da época da revolução industrial. Entretanto, a época de ouro que firmou de vez as raízes da evolução científica foi justamente o final do século XIX com a ampliação de várias áreas da ciência. Um exemplo desse impulsionamento no campo científico está relacionado à descoberta da radioatividade por Henri Becquerel. A radioatividade foi uma das maiores descobertas da humanidade (Miguel, 2020). A descoberta foi introduzida pela primeira vez na medicina, sendo também fonte de estudos de muitas mentes brilhantes como Marie Curie, Pierry Curie, Max Planck, Albert Einstein, Ernest Rutherford, J. J. Thompson e outros cientistas.

No início, a descoberta da radioatividade tornou-se beneficentemente útil para a Medicina. Em contrapartida, essa descoberta poderia ser a chave para uma catástrofe em escala de devastação continental proveniente de seu mau uso. Um exemplo dessas catástrofes radioativas é o acidente nuclear na usina de Chernobyl, na Ucrânia, muito lembrado pela mídia. “Chernobyl é um dos eventos ímpares do século XX justamente pelo fato do seu trauma se manifestar não apenas psíquica ou socialmente, mas sobretudo no espaço que possibilita a vida, desafiando, assim, o próprio significado de progresso técnico-científico da humanidade” (Portal, 2020).

A radioatividade contribuiu muito no campo da saúde, mas com o passar do

tempo a tecnologia foi direcionada também para fins bélicos e para a geração de energia elétrica, levando a sociedade mundial a interpretar de maneira errônea essa tecnologia, tomando como base o bombardeio das cidades japonesas, a corrida armamentista da guerra fria e os diversos acidentes e desastres nucleares. Essa concepção de que a radioatividade é algo ameaçador, teve consequência na forma com que o poder atômico foi manipulado pelo ser humano.

Atualmente essa tecnologia atômica é utilizada em muitas pesquisas voltadas para a sociedade contemporânea; Porém, mesmo decorridos anos após os acontecimentos desastrosos envolvendo a radioatividade, ainda existem interpretações negativas da sociedade. Posto isto, entende-se a necessidade de elementos teóricos que tratem com mais especificidade das matérias que serão ensinadas (Neto, 2022), ou seja, o ensino de radioatividade precisa ser elaborado com materiais pedagógicos que possam mostrar para o aluno toda a trajetória histórico científica que a radioatividade proporcionou para a humanidade, desde a descoberta dessa tecnologia, abordando a sua importância, os desastres ocorridos pelo seu manuseio indevido e as suas utilizações no cotidiano.

A socialização do indivíduo começa na escola, tendo a oportunidade de aprender conceitos disciplinares que irão formar um cidadão crítico para atuar na sociedade; e os conceitos aprendidos, principalmente sobre a ciência do dia a dia, começam a criar forma no ambiente escolar onde posteriormente cada informação que o aluno aprendeu, contribuirá para a construção de seu intelecto crítico durante a escolaridade e após o ensino médio. De acordo com Santos e Schnetzler (1997), alfabetizar cidadãos em ciências e tecnologia é hoje uma necessidade do mundo contemporâneo. A sociedade precisa que a maioria das pessoas seja alfabetizada no ramo da ciência e da tecnologia, que sejam capazes de usar o conhecimento científico e tecnológico na solução de problemas do dia a dia e a tomarem decisões com responsabilidade social. Sendo assim, o modo da sociedade pensar sobre o tema da radioatividade, independente de pensar como benefício ou não, tem as suas raízes projetadas na forma como o tema é ensinado na escola (Fiori; Goi, 2020).

Quando o tema radioatividade é trabalhado em sala de aula, o mesmo ocorre de forma superficial, usando apenas trabalhos de pesquisa, pois este tema se encontra como o último tópico do livro didático do 2º ano do Ensino Médio ou início do 3º ano do Ensino Médio (Alemida, 2018 *apud*. Lisboa, 2010; Fonseca, 2013). Um tema como esse, se for trabalhado apenas superficialmente, pode desestimular o estudo do assunto por parte dos estudantes, e ainda dar a entender que o assunto ministrado é algo pronto e acabado, contribuindo para a visão da química como uma ciência de difícil compreensão pela maioria

das pessoas (Bouzon *et al.*, 2018).

Diante desse contexto, este trabalho buscou respostas para um contexto bem atual no ensino: Como os alunos verificam a temática da radioatividade? Existem muitas concepções errôneas sobre essa temática? Se existem tais concepções equivocadas, quais são essas causas? Para responder essas perguntas foi preciso então conhecer as concepções dos estudantes a respeito da temática, essa investigação foi feita no 2º ano do ensino médio do curso técnico em Agropecuária do Instituto federal de educação ciência e tecnologia da Paraíba – Campus Sousa.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Conhecer as concepções dos estudantes do curso técnico integrado em Agropecuária do IFPB – Campus Sousa sobre radioatividade.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar as concepções de radioatividade dos estudantes do curso técnico integrado em agropecuária;
- Compreender os impactos dos conceitos aprendidos pelos estudantes para o processo e aprendizagem deles.

### 3 JUSTIFICATIVA

A radioatividade desempenha um papel fundamental no dia a dia, seja com utensílios básicos ou complexos equipamentos como, por exemplo, utilização com máquinas de tratamento contra o câncer. Estudar sobre esse tema torna-se promissor nos tempos de hoje tanto para descobertas científicas nessa área como também na utilização e aperfeiçoamento para aplicação em diversas áreas. Em contrapartida, a temática pode ter uma concepção negativa associada a algo ruim pela maioria da sociedade, tendo em vista seu histórico nada agradável à primeira vista. Se por um lado existem essas preocupações pelo fato de terem ocorridos muitos desastres radioativos, por outro lado é preciso conhecer no que a radioatividade pode provocar benefícios pra sociedade mundial. É importante haver um estudo sobre esse tema para que essa perspectiva errônea sobre a mesma possa ser minimizada, mostrando que a radioatividade não é algo ameaçador, dependendo da forma que a mesma é utilizada. Artigos científicos, revistas e noticiários de vez em quando mostram ao público o poder da manipulação atômica, muitas das vezes trazendo à memória os diversos acidentes e desastres ocasionados ao longo do tempo. Raramente o setor midiático associa essa temática como algo benéfico. Portanto, essa divulgação da mídia fortalece essa concepção negativa da sociedade, deixando de pensar nesse recurso científico como algo bom.

As opiniões a respeito são apresentadas sem o conhecimento técnico científico adequado e facilmente há avaliações errôneas sobre o tema, tendo essa desinformação raízes na formação básica (Bez *et al.*, 2013). Por essa razão, é importante que se façam estudos sobre a temática, principalmente na educação básica, podendo evitar que um pensamento equivocado seja levado e compartilhado por toda a vida, disseminando assim uma equivocada ideia de pensamento sobre a radioatividade.

## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1 O ensino da temática no ensino médio**

O ensino de radioatividade é geralmente um tema abordado na matriz curricular de química, sendo na maioria trabalhado no final do segundo ano do ensino médio. Esse tema é importante que seja trabalhado em sala de aula de forma contextualizada e com materiais didáticos que auxiliem para a aprendizagem (Fellipeto, 2021).

De modo geral, como apontam Silva e colaboradores (2007), discute-se muito pouco o contexto histórico de sua descoberta, sendo que este tema vem sendo trabalhado de uma forma simplista e rudimentar. Almeida (2018) destaca que “determinados grupos sociais identificam concepções errôneas quanto ao tema da radioatividade, associando a temática como algo ruim”. Um dos fatores contribuintes que fazem esse tema ser equivocadamente interpretado está associado com os bombardeios atômicos, a finalidade bélica da corrida armamentista na guerra fria e as informações como o acidente nuclear de Three Mille Island e Chernobyl. (Pelliccione *et al.*, 2005).

Além disso, a produção das bombas nucleares, a explosão da usina nuclear de Chernobyl, o desastre radiológico em Goiânia e o vazamento de material radioativo em Fukushima tornaram-se temas frequentemente discutidos pelas mídias (Almeida, 2018), contribuindo assim para a construção de equívocos relacionados à associação da radioatividade a “algo ruim”. Além dos acidentes e desastres radioativos trazer graves consequências para a vida do ser humano e o meio ambiente, os mesmos foram fontes de reflexão sobre a evolução da tecnologia nuclear, proporcionando mais pesquisas na área para garantir maior segurança no manuseio do poder atômico. Uma nuvem de dúvidas, estranheza e maldade sempre pairou sobre os assuntos que envolvem a Física Nuclear, pois no senso comum, esta ciência só é lembrada pelo seu uso bélico (Freitas; Brissi, 2020).

### **4.2 Vozes do passado: a descoberta da radioatividade**

No ano de 1830 o cientista Michael Faraday havia realizado vários experimentos com descargas elétricas em gases rarefeitos, todavia a principal dificuldade de seu tempo era poder criar dentro da ampola um vácuo favorável para engajar ainda mais seus experimentos. Os raios catódicos foram motivos de estudos por muitos pesquisadores nos anos mais à frente, tornando-se uma tendência, Naquele tempo, o aparato serviu de experiência para J. J.

Thompson, o articulador do “pudim de passas”, nome referido ao seu modelo de representação atômica.

A denominação *raios catódicos* (*Kathodenstrahlen*) foi introduzida pelo físico alemão Eugen Goldstein (1850-1931), em 1876, ocasião em que ele apresentou a interpretação de que esses raios eram ondas no *éter*. Uma interpretação contrária, defendida pelos ingleses, também chamava a atenção do mundo científico da época. (Santos, 2009).

A ampola de raios catódicos, que anos mais tarde foi chamada de ampola de Crookes, teve grande contribuição na pesquisa precursora para a descoberta da radioatividade. Na noite de 8 de novembro de 1895, o cientista alemão Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) estava estudando os raios catódicos em seu laboratório, quando percebeu que em uma certa distância do experimento havia um brilho incandescente saindo de uma placa de bário. Fascinado pela luminescência vinda da placa, o pesquisador repetiu por diversas vezes o experimento a fim de investigar do que se tratava tal fenômeno luminoso. O mesmo ainda verificou que o raio catódico se concentrava dentro da ampola que estava devidamente vedada, e portanto chegou a hipótese de que uma espécie de raio invisível saía da ampola e interferia com a placa. Vários objetos foram colocados entre a ampola de raios catódicos e a placa, mesmo assim fazia com que a luminescência continuasse, exceto quando se colocava um pedaço de Platina e Chumbo entre a placa de Bário e a ampola, fazendo com que houvesse um bloqueio e o brilho incandescente cessasse (Santos, 2009).

Espantado pela pesquisa e intrigado sobre o porquê de tal luminescência, o cientista deslocou a ampola para a frente da placa de bário e sem querer deixou a própria mão entre o tubo catódico e o objeto. Com esse incidente, o cientista ficou espantado visualizando a imagem esquelética da própria mão na placa de bário. Depois de várias experiências e repetições para ter certeza sobre o que de fato ocorria, no dia 22 de dezembro do mesmo ano, chamou sua esposa para que o acompanhasse na demonstração de seu experimento para um grupo de cientistas. Sua esposa então repete seu feito introduzindo a mão entre a ampola e uma chapa fotográfica, protagonizando assim a primeira radiografia. Por desconhecer as características da radiação, ele denominou essa misteriosa fonte de raio-X (Santos, 2009). Tratava-se de uma radiação penetrante, capaz de atravessar materiais opacos à luz e às outras radiações conhecidas (raios catódicos, raios ultravioletas e infravermelhos) (Martins, 2003).

Figura 1 – A primeira radiografia feita em 1895.





Fonte: Ceará UFC. Disponível em: <https://seara.ufc.br/pt/producoes/nossas-producoes-e-colaboracoes/secoes-especiais-de-ciencia-e-tecnologia/secoes-especiais-fisica/os-raios-x/>

Os raios-X continuavam sendo motivo de diversas pesquisas. Dentre essas estava o interesse do cientista francês Henri Becquerel em estudar os misteriosos raios descobertos por W. Conrad Roentgen (Salgueiro; Ferreira, 1996). No ano seguinte em 1896, Becquerel sugeriu a hipótese de que a luminescência dos elementos se dava pela ação da luz solar, e em vez de utilizar o mesmo elemento que Roentgen manipulou, Becquerel utilizou sal de urânio, elemento que emitia uma certa luminescência. A pesquisa de Becquerel consistiu em manipular o urânio expondo o elemento em uma chapa fotográfica e envolto com um papel muito espesso, de modo que ficasse bem escuro. Após passar um determinado tempo em contato com a luz solar, o cientista violou o papel que envolvia o conteúdo. Posteriormente, ele pode visualizar que o urânio havia projetado uma sombra bem definida no filme fotográfico, fazendo com que Becquerel repetisse diversas vezes o experimento, a fim de realmente confirmar a sua hipótese. Dias mais tarde, Becquerel verificou que o tempo estava nublado e a luz solar com pouca intensidade, fazendo o mesmo a não realizar o experimento pelo motivo do clima nublado que o impedia de realizar. O cientista tratou de guardar o pedaço de urânio deixando-o envolvido longe de qualquer interação com a luz guardado em sua gaveta (Salgueiro; Ferreira, 1996).

No dia seguinte, Becquerel retornou ao laboratório e retirou o conteúdo. Para a sua surpresa a chapa fotográfica continha a sombra bem projetada do pedaço de urânio. No

entanto, com grande surpresa, verificou que a imagem obtida era tão intensa como a observada com a exposição a uma luz solar intensa (Salgueiro; Ferreira, 1996). O cientista fez várias réplicas de seu experimento por várias e várias vezes, dessa vez para academia científica. No ano de 1886 ele havia descoberto oficialmente que os raios X emitidos pela ampola do experimento de Roentgen, e a misteriosa fluorescência dos sais de urânio se tratava de radiação. Ele propôs para o fenômeno o nome de hiper fosforescência (Martins, 2003), que se popularizou rapidamente ao ponto de se tornar motivo de pesquisa para muitos cientistas.

### **4.3 As pesquisas após a descoberta: de Thompson ao casal Curie**

Logo após a descoberta dos raios X, diversos pesquisadores, independentemente uns dos outros, notaram que a nova radiação era capaz de descarregar eletroscópios e que isso ocorria porque o ar atingido pelos raios X se tornava condutor de eletricidade. O primeiro a divulgar tal descoberta foi o físico inglês Joseph John Thomson. Ele, Ernest Rutherford e colaboradores fizeram estudos quantitativos em prol de estudar mais profundamente tal fenômeno, propondo posteriormente conclusões nas quais afirmavam que os raios X rompem as moléculas neutras do ar e produzem íons positivos e negativos, capazes de conduzir a eletricidade (Martins, 2003).

Depois de um certo tempo esses íons se recombinaam tornando o ar isolante elétrico novamente, fazendo com que o efeito ionizante dos raios X acabasse; o fenômeno também foi observado na emissão fluorescente do urânio. Mesmo os cientistas tendo feito muitos estudos com a hiper fosforescência, ainda assim tal fenômeno continuava a intrigar a comunidade científica daquela época. Somente a partir do final do século XIX para o início do século XX é que o entendimento da radiação desses elementos pode ser mais compreendido (Martins, 2003).

No início do século XX, o cientista inglês J. J. Thomson começou seus estudos com os raios catódicos, contribuindo assim com um amplo entendimento com base em seu modelo atômico. Uma cientista que estudou a fundo sobre o fenômeno radioativo foi Marie Curie. Marie Sklodowska (nome de solteira) nasceu na Polônia, filha de um professor de física sendo a quinta e última filha. Sua trajetória de vida não foi nada fácil tendo de abrir mão de seus estudos para financiar os estudos de sua irmã que se formava em medicina na cidade de Paris; em troca, assim que sua irmã se tornasse médica a mesma financiaria a sua ida para Paris, para que assim ela pudesse seguir sua carreira no campo científico (Martins,

2003).

Após sua irmã ter se formado, Marie ingressou em seus estudos formando-se em física e posteriormente em matemática; contudo o seu plano era retornar à Polônia assim que o governo autoritário do imperador russo fosse deposto. Atraída pela vida científica, no momento em que a mesma foi diplomada ela tentou emprego em diversos laboratórios, muitas das vezes sendo rejeitada, mas sempre tendo oportunidade de realizar tarefas no qual ganhou muito respeito e admiração, o que fez com que ela conseguisse um emprego sendo supervisionada por Henri Becquerel (Martins, 2003).

Na execução de seus trabalhos, a recém pesquisadora despertou a atenção de um cientista chamado Pierre Curie. A relação de trabalho de Pierre e Marie era intimamente atrativa, os dois se entendiam muito bem, tanto que depois de algum tempo os mesmos casaram-se. Marie obteve um interesse pelos estudos de seu supervisor Becquerel, tanto que o tema escolhido para a tese foi o estudo das radiações do urânio, através do método elétrico. As estimativas de Becquerel para a descoberta da radioatividade foram graças ao urânio. Marie sabia que esse elemento era notoriamente capaz de emitir raios de natureza eletromagnética; o que a cientista precisava saber era a origem da emissão desses raios no urânio. Para isso, ela começou estudando um mineral chamado de pechblenda, de onde o urânio era extraído. Em meio a certas análises realizadas pela cientista, constatou-se então um fato curioso: a pechblenda emitia uma corrente elétrica mais intensa do que a corrente verificada no mineral puro de urânio, o que para a mesma era muito estranho, pois isso contradiz os resultados de Becquerel, onde não seria possível um outro mineral ser mais intenso na emissão dos raios que o urânio (Martins, 2003).

O casal Curie suspeitava que a radiação que o pechblenda emitia era devido a presença de urânio contido na composição do mineral, o que levou à especulação de várias hipóteses. Uma delas era de que, além do urânio, também existiam outros elementos radioativos, pelo fato de que tal peça se mostrava mais intensamente que o urânio puro. Os cientistas então investigaram a possibilidade de que a pechblenda continha, além de óxido de urânio, várias outras substâncias em pequena quantidade, incluindo então a possibilidade de haver também o elemento Tório (Martins, 2003).

A conclusão feita pelos Curie foi de que o Tório também emitia uma radiação ionizante. Com o intuito de investigar o mineral mais amplamente, Marie Curie passava horas e horas manipulando vidrarias e mexendo em tonéis a fim de separar as substâncias ionizantes, desenvolvendo assim um método de separação que proporcionou o surgimento de um elemento 400 vezes mais radioativo do que o urânio. O elemento descoberto foi o

Polônio, e, posteriormente, descoberto o Rádio, com números surpreendentes de cerca de 900 vezes mais ionizante que o urânio. Graças a essa pesquisa, a cientista foi contemplada no ano de 1903 com o prêmio Nobel de Física, dividindo a premiação com seu marido Henri Becquerel. Marie ficou sendo especulada em várias instituições de ensino para ministrar aulas, alcançando regência na Universidade de Sorbonne (Martins, 2003).

Tempos depois, no ano de 1906, ela testemunhou um acidente trágico envolvendo seu marido em uma noite chuvosa de abril: seu esposo foi atropelado por uma carroça e faleceu. Mas esse trágico evento não foi o suficiente para que a cientista parasse de investigar, muito pelo contrário, suas pesquisas renderam mais outro prêmio Nobel, desta vez na área de química (Martins, 2003).

#### 4.4 Contribuições de Ernest Rutherford

Da mesma maneira com que os pesquisadores mencionados tiveram curiosidade na investigação da radioatividade, o cientista Ernest Rutherford também teve essa chama investigativa, tanto que o mesmo aproveitou parte dos trabalhos de Becquerel e da madame Curie, em prol de saber qual seria a causa das emissões ionizantes. Dentre os alunos de Thomson, Ernest Rutherford (1871-1937) foi o primeiro pesquisador formado fora de Cambridge a atuar no Laboratório Cavendish (Lopes; Martins, 2009).

Geralmente o material manipulado por Rutherford era o urânio ou o polônio. O cientista resolveu então realizar seus experimentos, envolveu o elemento polônio em uma caixa de chumbo com uma grossa espessura, deixando um furo pequeno para que a luz ionizante fosse de encontro a uma chapa fotográfica em uma linha retilínea, concentrando assim em um único ponto da chapa (Fogaça, 2017).

A fim de verificar se essa luz continha cargas, o cientista acoplou um circuito elétrico em dois metais, tal circuito foi proveniente de uma bateria, ligando o polo positivo dela em um metal, e o polo negativo no outro, como representado na Figura 2.

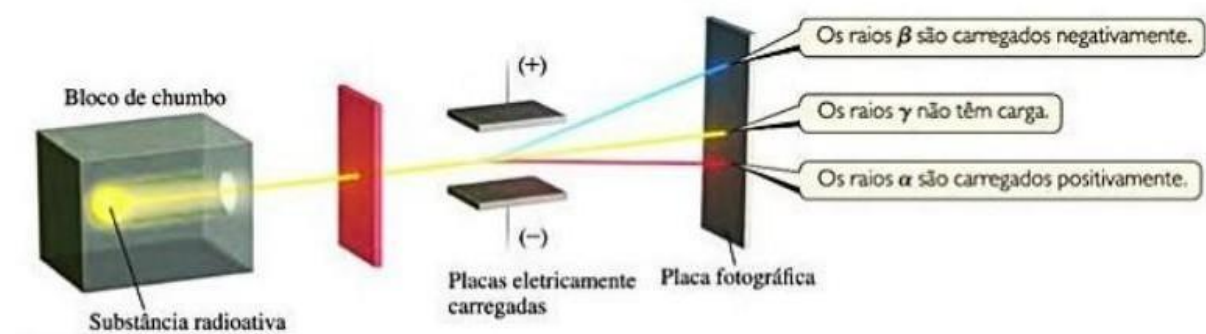


Figura 2– Experimento dos raios Alfa, Beta e Gama. Disponível em: Brown, T. Química a ciência central, 13ª edição, [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5646110/mod\\_resource/content/1/Qu%C3%ADmica%20-%20A%20ci%C3%A2ncia%20central%20-%20Theodore%20L.%20Brown.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5646110/mod_resource/content/1/Qu%C3%ADmica%20-%20A%20ci%C3%A2ncia%20central%20-%20Theodore%20L.%20Brown.pdf).

Para a sua surpresa, ele verificou que os raios se desviavam para o polo positivo e o polo negativo, dando a conclusão da existência de cargas; logo concluiu que se tratava de duas partículas carregadas. A partícula positiva foi denominada de partícula alfa ( $\alpha$ ) e a carregada negativamente foi chamada de partícula beta ( $\beta$ ). Além disso, algo chamou a atenção de Rutherford: havia também uma partícula que permanecia em linha reta sem nenhuma carga. Ele notou que não se tratava de uma partícula e sim de uma onda eletromagnética de alta energia, denominando-a de raios gama ( $\gamma$ ).

Mas como essas partículas eram emitidas da matéria que constituía o polônio sendo que o modelo atômico da época era a do “pudim de passas”? Como seria possível uma carga positiva (próton), uma carga negativa (elétron) e um raio ionizante neutro sair do átomo? Esses questionamentos levantados pelo mesmo tiveram respostas na descoberta do núcleo atômico e da eletrosfera, em seu famoso experimento com a lâmina de ouro, concluindo assim que a estrutura da matéria continha um núcleo centralizado, no qual concentravam as cargas positivas e a estrutura neutra, e que ainda o átomo teria uma região maior onde concentravam os elétrons, tal região foi denominada de eletrosfera.

A verificação de Rutherford foi que as características das partículas alfa ( $\alpha$ ) descoberta por sua pesquisa era de informações semelhantes ao átomo de Hélio tendo 2 prótons e 2 nêutrons. “As partículas alfa são muito mais compactas do que as partículas beta e têm cargas positivas; portanto, são atraídas para a placa negativa. Entretanto, as partículas beta se diferem por serem de carga negativa, se tratando então da emissão de um elétron, sendo que essas emissões são proveniente da desintegração de um nêutron, os núcleos atômicos radioativos tende-se a rearranjar, sendo que a partícula beta não tem prótons ou nêutrons, seu número de massa é zero (Brown, 2016).

Já os raios gama por se tratarem de uma onda eletromagnética de alta energia, não continha cargas e conseqüentemente não obtinham massa, por essa razão o raio não sofreu desvio. A radiação emitida por certos elementos como o polônio, utilizado na experiência de Rutherford, era capaz de penetrar alguns objetos, constatou-se então de que a partícula alfa têm um alcance no ar inferior a 10 cm, são barradas por papel, roupas e pela pele. “Portanto, quando as partículas alfa são provenientes de uma fonte externa ao organismo humano, praticamente não oferecem nenhum perigo para o organismo” (Santos, 2020). As partículas beta, por sua vez, são constituídas de elétrons muito mais leves do que o próton, portanto tem

um alcance de penetração maior do que as partículas alfa, conseguindo transpassar até 1 mm de espessura de alumínio, podendo alcançar até 13 metros no ar.

O seu poder de ionização é bem menor. O perigo oferecido pelas partículas beta provenientes tanto de fonte interna como externa pode ser classificado como moderado. A partícula beta é cerca de 7.000 vezes mais leve que a partícula alfa e tem velocidade bem maior, podendo atingir uma velocidade de até 95% da velocidade da luz (Santos, 2020).

O poder de penetração dos raios gama é surpreendentemente maior e mais energético, ocupando assim o lugar de mais alta energia no espectro eletromagnético. Podem ser barradas por placas de chumbo extremamente grossas, sendo que por essa razão torna-se muito perigoso para a saúde humana. Contudo essas ondas gama são as que oferecem um perigo intensamente mais sério por tratar-se de uma onda eletromagnética de altíssima energia, sua velocidade de penetração é a mesma velocidade que a luz se apresenta no vácuo.

Tabela 1 – Características das diferentes radiações.

<b>RADIAÇÃO</b>	<b>ALFA (<math>\alpha</math>)</b>	<b>BETA (<math>\beta</math>)</b>	<b>GAMA (<math>\gamma</math>)</b>
<b>IONIZAÇÃO</b>	Alto: essa partícula captura 2 elétrons, transformando-se em um átomo de Hélio.	Médio: por possuir carga elétrica menor, possui menor poder ionizante.	Pequeno: não possuem carga.
<b>PODER DE TRANSPASSAR</b>	Pequeno: uma simples folha de papel consegue barrar. Consegue transpassar 2 cm a 8 cm no ar.	Médio: é cerca de 50 a 100 vezes mais penetrante que a partícula alfa, podendo ser barrada por uma chapa de Alumínio de 1 cm e 1mm a 2mm de Chumbo.	Alto: esses raios têm maior poder penetrante que os Raios-x, podendo ser detidos por 20 cm de aço ou 5 cm de Chumbo.
<b>DANOS</b>	Pequenos: são detidos pelas células mortas da pele, podendo causar queimaduras.	Médio: Podem penetrar até 2 cm e ionizar moléculas gerando radicais livres.	Alto: transpassa o corpo humano completamente, causando danos irreparáveis como alteração na estrutura do DNA.
<b>VELOCIDADE</b>	5% da velocidade da luz.	95% da velocidade da luz.	100% da velocidade da luz.

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2020.

#### 4.5 Primeiras utilizações: vidas salvas por um “raio”

Rutherford obteve êxito em desvendar a origem das emissões radioativas, no entanto as pesquisas nessa área ainda continuam, proporcionando benefícios no uso medicinal introduzido pela madame Curie na primeira guerra mundial. Com a eclosão da guerra, Marie

viu que os raios X eram de suma importância para serem utilizados em equipamentos portáteis de radiologia para o tratamento de lesões e ferimentos de bala foi então que Marie logo desenvolveu o carro radiologista, apelidado de “pequeno Curie” (Figura 3), que possuía uma máquina de raio-x, além dos demais equipamentos necessários para a revelação de imagens (Gomes, 2021)

Figura 3 – Marie Curie conduzindo uma ambulância com equipamentos de raios-x durante a guerra.



Figura 3 – Marie Curie conduzindo uma ambulância com equipamentos de raios-x durante a guerra. Fonte: Disponível em: [https://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_cultural/lqes\\_cultural\\_ano\\_intern\\_Marie\\_Curie\\_I.html](https://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_cultural/lqes_cultural_ano_intern_Marie_Curie_I.html).

A invenção funcionava da seguinte maneira: O carro possuía um gerador elétrico que operava por meio do motor do veículo. Assim, a utilização das máquinas era possibilitada (Gomes, 2021).

A atuação da radioatividade na área da saúde teve grande contribuição para diversos tipos de tratamentos proporcionando inúmeros benefícios, portanto embora a confirmação do perigo do Rádium (elemento químico altamente radioativo de número atômico 88) fosse conhecida, ainda sim continuava sendo uma área de muita pesquisa envolvida, tanto que tempos após a guerra, Marie Curie se dedicou a construção do instituto francês para pesquisas envolvendo a radioatividade. Anos mais tarde, o Rádium foi considerado elemento muito perigoso por causa dos seus efeitos em contato com o ser humano. Posteriormente Marie veio a falecer por estar constantemente em contato com materiais radioativos.

Em meados de 1920, os perigos do rádio foram se evidenciando: jovens que trabalhavam pintando os mostradores de relógios com rádio para brilharem no escuro estavam

sofrendo de câncer, pois molhavam os pincéis na língua. Funcionários do laboratório de Curie morreram de anemia e leucemia, e a própria Marie sofria com os efeitos da radiação. Pela razão da qual mencionada acima, Marie Curie faleceu devido a complicações da leucemia causadas pela exposição à radiação, deixando assim de ver sua filha ganhar o prêmio Nobel pela descoberta da radioatividade artificial (Rodrigues, 2020).

## **4.6 Retrospectiva dos desastres nucleares**

### **4.6.1 AS BOMBAS SOBRE O JAPÃO**

Pelo contexto histórico da evolução atômica, desde a sua descoberta até o fim do século XX aconteceram vários eventos benéficos que contribuíram para o bem estar da sociedade, bem como a evolução tecnológica, e também causas que impactaram o planeta maleficamente a partir de meados de 1930, como por exemplo manipulação da nova tecnologia atômica para fins bélicos, e desastres nucleares que devastaram regiões habitáveis como por exemplo a cidade ucraniana de Pripjat, na fronteira com a Bielorrússia, onde ocorreu o acidente nuclear considerado o mais catastrófico da era atômica: O desastre radioativo de Chernobyl.

Tempos depois do fim da primeira guerra mundial, a Europa se via na fase da reconstrução do que havia se perdido no conflito, mas mal sabiam que em alguns anos posteriormente algo muito pior iria acontecer. Nessa época os trabalhos e pesquisas científicas voltaram novamente ao cenário, com o enigma da estrutura atômica praticamente decifrado e as avançadas pesquisas em radioatividade. No ano de 1938 cientistas principalmente dos Estados Unidos e Reino Unido se viram espantados pela descoberta da fissão nuclear, descoberta essa atribuída aos cientistas alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann em parceria com o cientista italiano Enrico Fermi.

A divisão do núcleo de um átomo pesado, por exemplo, do urânio-235, em dois menores, quando atingido por um nêutron, é denominada fissão nuclear. Seria como jogar uma bolinha de vidro (um nêutron) contra várias outras agrupadas (o núcleo) (Cardoso *et al.*, ano).

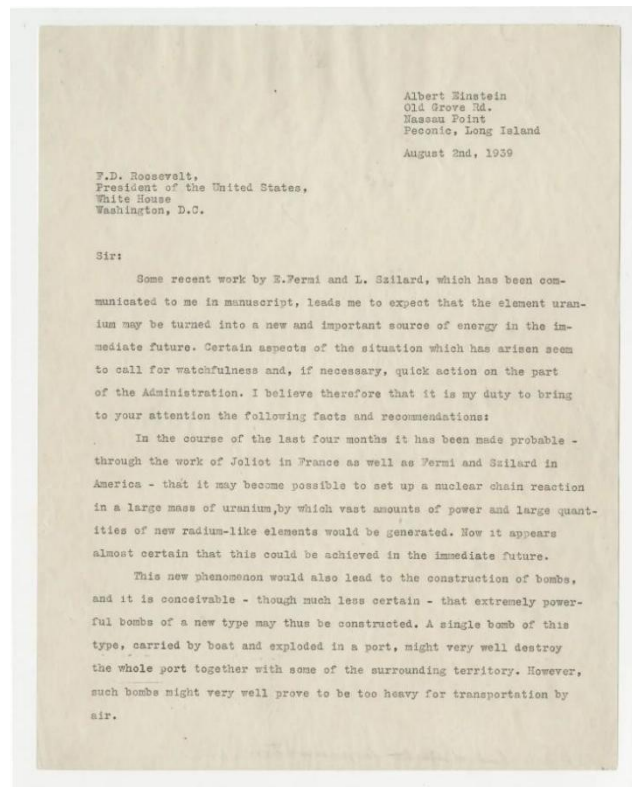
Nessa ocasião eles perceberam que ao bombardear um átomo de urânio usando nêutrons, eles se dividem ao meio liberando uma quantidade enorme de energia e se transformando em átomos mais leves do que os de origem. Após essa fissão ocorrer o núcleo atômico libera dois ou três nêutrons, os quais colidem com mais átomos de urânio, dividindo-os, e posteriormente repetindo esse processo inúmeras vezes, provando assim a



famosa equação de Albert Einstein  $E = mc^2$  que mostra a equivalência entre massa e energia, uma vez que em ambos os casos a massa total resultante é menor que a massa total inicial (Okuno, 2015).

A situação no continente europeu não era nada fácil naquele tempo, tanto que os americanos, os britânicos e os franceses temiam que os alemães pudessem usar a tal descoberta para algum fim maléfico. Com a eclosão da Segunda Guerra Mundial, a Europa se viu tomada pelo avanço do eixo, causando muita preocupação tanto da classe política quanto da científica, uma dessas preocupações fez o físico alemão Albert Einstein escrever uma carta ao presidente americano Franklin Delano Roosevelt sobre a possibilidade do uso da energia nuclear em criar uma arma de destruição em massa, incentivando assim a construção dessa tal arma antes que os alemães a fizessem (Okuno, 2015).

Figura 3 - Carta de Albert Einstein ao presidente Franklin D. Roosevelt.



Fonte: So científica. Disponível em: <https://sociocientifica.com.br/a-carta-de-einstein-que-mudou-a-historia-leia-na-integra/>)

Contrapartida havia um problema sobre essa busca maléfica, os nazistas que detinham a tecnologia da fissão nuclear também souberam dessa possibilidade e estavam tentando desenvolver a mesma finalidade, só que diferentemente dos americanos os alemães tinham uma vantagem, pois a equipe de pesquisa estava sendo liderada pelo cientista Werner Heisenberg, o ganhador do último prêmio Nobel de física. “Em plena guerra, Niels Bohr foi

um dos primeiros cientistas aliados a tomar conhecimento de que os alemães tinham obtido a fissão do urânio” (Merçon; Quadrato, 2004).

Com o passar dos anos, a situação no lado alemão estava realmente crítica com a perda de muitos recursos e várias baixas militares no front, “mesmo quase perdendo a guerra naquela ocasião, se a tecnologia bélica caísse nas mãos do fúher certamente o rumo da guerra teria mudado drasticamente apenas com algumas bombas” (NATIONAL GEOGRAPHIC: OPPENHEIMER VS HEISEMBERG, Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-FovbNZJ-Y8>).

Os Estados Unidos em parceria com a Grã-Bretanha e Canadá desenvolveram então o projeto Manhattan, com a finalidade de construir a bomba atômica. Tendo a liderança do cientista Robert Oppenheimer, diversos laboratórios dos Estados Unidos se empenharam no projeto Manhattan, enquanto o volume e ritmo de trabalho dos nazistas era devagar, pois a situação da guerra era desfavorável para o lado alemão. Também havia falta de investimento e desinteresse por parte do próprio fúher o que só aumentava a pressão e a responsabilidade sobre as costas de Heisenberg, tanto que em uma noite o laboratório onde os nazistas trabalhavam explodiu por causa que nos tonéis de testes, uma quantidade a mais de urânio foi introduzida nos aparelhos. No lado americano as coisas fluíam com dificuldades, mas os cientistas já estavam perto do objetivo, tanto que foram criadas três bombas. A primeira bomba foi batizada de Trinity usada para teste a fim de verificar o poder devastador da nova arma, e as duas bombas para o lançamento no Japão chamadas de Little Boy e Fat Man.

Tempos depois na Alemanha, o cientista Heisenberg e seus colaboradores foram capturados pelos aliados e levados para Londres onde foram submetidos a vários interrogatórios para saber o quão longe os alemães foram na criação da arma destruidora. Nos Estados Unidos todos os cientistas que trabalharam no projeto Manhattan estavam ansiosos pelo teste da bomba. Estando em uma altura consideravelmente alta, a bomba Trinity detonou liberando uma quantidade enorme de energia. O poder da detonação pode ser sentido pelos cientistas mesmo estando a muitos quilômetros de distância do epicentro da explosão, então, os americanos poderiam ter certeza de que naquela ocasião o rumo da guerra iria terminar de uma forma assustadoramente aterrorizante.

O bombardeiro americano B-29 batizado de Enola Gay pela equipe que transportava a bomba little boy, decolou da ilha Tinian às 2h45 pilotado pelo coronel Paul Warfield Tibbett Jr. Onde chegou a Iwo Jima às 5h52, seguindo posteriormente para Hiroshima. Duas aeronaves B-29 seguiram o Enola Gay em escolta transportando instrumentos de medidas e equipamentos fotográficos para registros.

O comandante do Enola Gay, Paul W. Tibbetts, nunca imaginou que o avião que pilotava iria mudar fundamentalmente o curso da história. Quando as escotilhas se abriram para lançar a bomba atômica, chamada Little Boy, a humanidade não sabia isso foi no início de uma nova era: a era atômica. (Ayape; Fuentes, 2020).

Ao sobrevoar a cidade portuária de Hiroshima, a bomba teve a sua última vitória para seguir seu destino de destruição. Após o encaixe dos plugs que destravaram a bomba, as comportas do compartimento de carga do Enola Gay foram abertas e a Little Boy enfim foi lançada, iniciando assim o seu movimento de queda livre, bem como sua contagem regressiva para a catástrofe. Os pilotos do B-29 aplicaram toda a potência dos motores para poderem escapar a tempo, quando a bomba estava quase chegando ao seu destino final, a carga de nêutrons foi ativada dando início assim a uma reação em cadeia descontrolada, até o momento de a bomba atingir a sua massa crítica e explodir a 500 metros de altura, liberando assim uma quantidade de energia jamais vista seguida por partículas radioativas extremamente carregadas e uma radiação ionizante com uma energia indescritível. Pessoas que estavam nas ruas foram literalmente vaporizadas, construções de puro concreto vieram abaixo em milésimo de segundos devido a enorme onda de choque, milhares de pessoas morreram no momento da explosão (Ayape; Fuentes, 2020), transformando a cidade em um deserto radioativo, onde a radioatividade poderia facilmente matar qualquer pessoa que adentrar na cidade depois da explosão.

Três dias depois, foi a vez da cidade de Nagasaki experimentar as dores da explosão decorrentes da segunda bomba nuclear. Deve-se ressaltar que o alvo principal era a imensa fábrica de armamentos em Kokura, mas devido à falta de visibilidade o alvo foi mudado para Nagasaki. Às 3h49 do dia 9 de agosto de 1945 o B-29 Bock 's Car pilotado pelo major Charles W. Sweeney sobrevoava transportando a segunda bomba nuclear batizada Fat Man escoltados por outros bombardeiros B-29, o mecanismo de ataque usado foi o mesmo que de Hiroshima, as comportas do bombardeiro foram abertas e posteriormente a bomba foi lançada, e segundos depois do seu movimento em queda livre, os detonadores de explosivo implodiram a carga de plutônio da bomba liberando assim uma reação nuclear em cadeia seguida de uma grande energia até o ponto da bomba atingir a sua massa crítica e explodir estando aproximadamente 503 metros do chão. Curiosamente antes da bomba cair uma mensagem foi jogada.

The Great Artist que escoltou o Bock's Car deixou cair antes da bomba uma lata com uma carta sem assinatura dirigida ao Professor Ryokichi Sagane, físico nuclear da Universidade de Tóquio, que havia realizado pesquisas em Berkeley na Universidade de Califórnia com três dos cientistas responsáveis pela construção de bombas atômicas. A carta manuscrita continha a mensagem de que o público japonês fosse informado dos perigos dessa arma de destruição em massa. A carta foi encontrada por autoridades militares japonesas que só a entregaram ao professor

Sagane um mês depois. Em 22 de dezembro de 1949, um dos autores da carta, Luis Walter Alvarez, encontrou Sagane e assinou o documento (Okuno, 2015).

As cidades atingidas pelas bombas viraram um grande deserto radioativo até algum tempo intocável, milhares de pessoas perderam suas vidas instantaneamente decorrente da forte explosão, e os que sobreviveram no momento da devastação vieram a óbito decorrentes de doenças como o câncer. Esse episódio foi sem dúvidas o momento em que a tecnologia proveniente da radioatividade foi usada para fins maléficis, e também um ponto de partida para que o tema fosse visto com olhares de repúdio.

#### 4.6.2 A BOMBA ATÔMICA NA GUERRA FRIA

Com o fim da Segunda Guerra e a Europa inteira em construção, os norte-americanos se engrandeciam em ser o País mais poderoso em termos de força e influência, o que não agradou nada a União Soviética, pois a justificativa da nação soviética era de que se não fosse sua força militar e influência, Berlin nunca cairia em rendição. A tensão entre essas duas potências só inflama ainda mais na questão de uma querer ser superior a outra, dando assim início a chamada corrida armamentista em um episódio conhecido como guerra fria. O poder de destruição constatado pelo terrível armamento desencadeou o pesadelo da chamada “hecatombe nuclear”, que passou a assombrar a vida dos habitantes do globo (SANTIAGO, 2012).

Os Estados Unidos foi a primeira nação a utilizar o armamento nuclear, devido a isso despertou um grande interesse da União Soviética em produzir esses armamentos e melhorá-los a fim de ter uma maior potência de destruição.

O impacto das bombas atômicas detonadas pelos Estados Unidos no final da IIª Guerra Mundial e o uso chantagista de arsenais militares (contando com milhares de ogivas nucleares) como meio de garantir um “equilíbrio de forças” entre os blocos capitalista e comunista, no auge da Guerra Fria, disseminaram, junto ao grande público, um pavor de tudo que se relacionasse ao nuclear (PELLICCIONE *et al* 2005).

Os americanos não ficaram pra trás, eles também produziram esses armamentos com a finalidade de testar o seu poder devastador tendo o mesmo objetivo dos soviéticos, surgindo então a forma de poluição criada pelo homem a denominada poluição radioativa (MIGUEL, 2020), que era emitida a partir dessas explosões por dispersar no ambiente radionuclídeos contendo partículas ionizantes de energia consideravelmente alta podendo alterar drasticamente numa forma negativa o ciclo biológico local. Por essas razões os dois blocos iriam mostrar suas forças bélicas realizando diversos testes nucleares.

O local de testes mais famoso utilizado pelos EUA foi o chamado Atol de Bikini, localizado numa área isolada no Oceano Pacífico, esse lugar foi utilizado para a realização de cerca de 23 testes nucleares realizados pelos americanos entre os anos de 1943 a 1958. As bombas utilizadas por eles ultrapassaram a escala de medida de kilotons para megatons, o que aumentava seu poder de destruição e conseqüentemente a poluição radioativa proveniente dessas bombas, algumas com um alcance destrutivo de 15 megatons o equivalente a 15 milhões de toneladas de TNT (explosivos convencionais). Atualmente essa ilha se encontra inabitada devido a quantidade de radiação disposta no ambiente, sendo considerada a ilha mais radioativa do mundo (LINCOLINS 2022).

Devido a quantidade de testes realizados pelos Estados Unidos, o lado soviético também investia pesado nesses armamentos mantendo assim a finalidade de obter um maior poder de fogo em relação aos americanos. Ao todo a União Soviética realizou cerca de 715 testes nucleares entre 1949 a 1990, mas foi em um episódio específico durante a corrida armamentista que o mundo todo inclusive os Estados Unidos se assustaram, pois os Soviéticos criaram uma bomba com uma capacidade de destruição muito superior em comparação com os testes dos americanos, o projeto inicialmente era construir uma bomba atômica de cerca de 100 megatons, mas devido à preocupação dos cientistas com os estragos que tal aparato bélico poderia causar a arma foi reduzida para uma potência de 57 megatons, mesmo assim o poder de destruição foi considerado exponencialmente potente.

A bomba foi lançada de um avião bombardeiro no deserto campo de testes da Baía de Mityushina no norte do círculo polar ártico. A bomba foi lançada de uma altura de aproximadamente 10,5 mil metros de altura, e presa por um paraquedas de retardo para que assim os pilotos pudessem escapar antes da detonação. A bomba foi detonada e uma gigantesca quantidade de energia com ela foi liberada, a onda de choque da explosão foi tão poderosa que tal onda viajou cerca de três voltas no globo terrestre, entrando para a história como a maior detonação já feita pelo ser humano e conseqüentemente uma poluição radioativa inestimada.

#### 4.6.3 ACIDENTE DE WINDSCALE – REINO UNIDO

O primeiro reator nuclear foi construído com a finalidade de conseguir plutônio a partir da reação de um nêutron do urânio-235 para o uso de armas nucleares destrutíveis. Tempos depois o poder da fissão nuclear foi utilizado para a geração de energia elétrica após muitas discussões sobre a capacidade de a fissão nuclear gerar energia, a União Soviética

construiu no ano de 1953 a primeira usina nuclear voltada para a geração de eletricidade.

Usinas nucleares são projetadas com sistemas dedicados a oferecer muita proteção aos seus trabalhadores, à população e ao meio ambiente (SANTOS *et al.* 2020) e se tratando de um tipo de indústria que manipula a fissão nuclear, é indispensável os meios de comunicação com os operários da usina caso alguma coisa não esteja normal.

No ano de 1957 no reino unido aconteceu um desastre nuclear ocorrido na central nuclear de Windscale, essa usina foi inicialmente desenvolvida para a criação do programa nuclear britânico. O início do desastre se deu por uma falha na operação, os cientistas verificaram um alto nível de radiação no reator alimentado por plutônio, de início os mesmos fizeram os procedimentos necessários para o devido controle do nível radioativo bem como a tentativa de resfriar o núcleo do reator, mas apesar dos esforços a temperatura dos reatores continuava a subir sendo que a situação tornou-se mais delicada no reator 1, pois ao contrário dos demais reatores refrigerados a água pressurizada o reator 1 continha barras de grafites refrigerados a ar resultando então em um incêndio que durou cerca de três dias despejando na atmosfera uma enorme quantidade de materiais radioativos por grande parte dos territórios, dentre os elementos emitidos pelo reator em chamas, estava concentrado um alto índice do isótopo radioativo de Iodo-131 que pode causar câncer de tireoide. Naquela ocasião não houve necessidade de evacuação da área, mas o leite produzido na redondeza foi confiscado pelo motivo de suspeita de contaminação. Felizmente, devido ao decaimento natural da radiação depositada, a terra hoje não apresenta contaminação detectável (XAVIER *et al.* 2006).

O incêndio fez espalhar uma nuvem radioativa que matou no mínimo cem ou mais pessoas. E Windscale deixou assim seu primeiro legado letal. Os restos do reator queimado, fechados hermeticamente, incluindo 15 toneladas de combustível carbonizado, foram deixados ali, trancafiados, intocados desde então, porque não há certeza científica, ainda, sobre o risco ou não de o fogo reiniciar quando as travas dos compartimentos se abrirem. A desativação, assim, está adiada. A promessa é que vá acontecer apenas em 2030 (Gonzalez 2015).

#### 4.6.4 O ACIDENTE NUCLEAR DE THREE MILE ISLAND

Muito tempo após a detonação das bombas atômicas no Japão, os Estados Unidos se lançaram em seu programa nuclear para gerar energia elétrica, mas mal imaginavam os engenheiros e cientistas da central, que era uma questão de tempo para que um descuido se tornasse o maior desastre radioativo da história americana. No ano de 1979 em Harrisburg no estado da Pensilvânia, engenheiros nucleares trabalhavam na central nuclear de Three Mile Island na geração de energia elétrica, assim como outras centrais espalhadas pelo território

dos Estados Unidos, a usina de Three Mile Island era um símbolo de inovação tecnológica e evolução científica, além ainda de assegurar para a sociedade da época que a manipulação da reação de fissão nuclear era algo seguro e que os elementos radioativos se manipulados por especialistas na área, não seria algo para se preocupar.

O acidente nuclear aconteceu devido a dois fatores, sendo o primeiro resultado por uma falha técnica de comunicação e o segundo resultando em uma falha humana. O reator nuclear que causou o desastre, era um grande reator refrigerado a água leve pressurizada alimentado por combustível físsil de Urânio-235. O sistema de resfriamento do reator foi “acidentalmente” trancado por uma válvula que impedia a passagem da água, e ainda mais para piorar a situação, os técnicos se envolveram em uma grande confusão comunicativa inacreditável em que um deles “bloqueou com o próprio corpo” uma parte do painel que mostrava que a água de refrigeração havia sido bloqueada segundo o texto de *The Washington Post* que foi publicado algumas semanas depois do acidente.

Um operador inadvertidamente bloqueou com seu corpo a visão dos indicadores que teriam lhe dito que duas válvulas cruciais da bomba de água de alimentação estavam fechadas. Fontes do NRC explicaram após a reunião que o operador era um homem grande com uma barriga grande que pairava sobre o painel de instrumentos (*The Washington Post*).

Sem a devida visualização de uma parte do painel, os operadores pensavam que tudo corria bem, mas ao perceber que a temperatura do núcleo começou a aumentar bastante, um deles havia percebido muito tarde que o sistema de refrigeração foi fechado, os operários do reator tentaram reverter o grande problema mas sem êxito pois as bombas auxiliares do sistema de emergência também foram desligadas, o que fez aumentar ainda mais a temperatura absurdamente a ponto de as células de combustível da fissão se fundisse uma na outra e começar a vazar material radioativo do núcleo até o reator ser controlado. A nuvem radioativa se espalhou por boa parte da Pensilvânia, embora o núcleo do reator não tenha entrado em colapso. Grande parte da usina foi afetada pela quantidade de radionuclídeos lançados no ambiente. Para piorar a situação tal fato originou pânico e desencadeou a evacuação da população até um raio de 32 km ao redor da usina, devido a exposição aos radionuclídeos dos materiais radioativos dispersos na atmosfera, mas segundo a contabilidade feita no local do acidente, a liberação de radionuclídeos foi considerada mínima para provocar alterações, tanto que a secretaria de saúde da Pensilvânia fez registros de aproximadamente 30.000 pessoas em um período de 18 anos após o acidente, tendo encerrado esse monitoramento em 1997 sem nenhum agravamento anormal dessas pessoas (ZAPATEIRO, 2020). Ao longo do tempo desde Windscale, grandes protestos contra a manipulação atômica

aconteceram desde então, utilizando o argumento que a manipulação da radioatividade é algo extremamente perigoso e pode matar milhares de pessoas além de devastar o meio ambiente.

#### 4.6.5 O DESASTRE NUCLEAR DE CHERNOBYL

Na cidade de Pripyat, na Ucrânia antiga União Soviética, funcionava a cerca de 6 km da cidade a central nuclear de Chernobyl uma das pertencentes ao programa nuclear soviético. A maioria da população que vivia na cidade, eram funcionários trabalhadores da usina, eles viviam muito bem instalados na cidade, mal sabiam os moradores que em uma fatídica madrugada o sossego de muitos iria mudar drasticamente. Inicialmente sendo construída com uma capacidade para operar 4 reatores, o projeto da usina foi estendido para comportar uma capacidade de 12 reatores, sendo que cada um produziria cerca de 1000 MW (CREA. 2022).

Esse é considerado o maior desastre nuclear da história. A grandeza desse desastre se deu por vários fatores, dentre eles por negligência profissional na segurança, falha operacional e uma impressionante omissão do governo soviético em divulgar ao mundo todo sobre o acontecido algum tempo depois por pura pressão de outros países.

No dia 25 de Abril de 1986, engenheiros da central nuclear estavam avaliando a possibilidade de um desligamento no reator de número 4, a fim de realizar manutenções, o desligamento do reator foi necessário para que assim os cientistas aproveitassem o tempo para a execução 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. (LIMA *et al* 2020). Na madrugada fria de 26 de Abril de 1986 o procedimento foi iniciado, e então o nível da potência do reator foi diminuído abaixo do nível de segurança permitido e logo após, as barras de controles com pontas de grafite foram retiradas e as bombas auxiliares do reator ligadas fazendo com que o fluxo de água fosse bem maior do que o recomendado pelas normas técnicas de segurança, os painéis de controle apenas registravam uma baixa potência, e não chegaram a indicar de início a instabilidade gerada no interior, contudo os cientistas não tinham noção do perigo. Passado um tempo, a energia das bombas foram cortadas e desconectadas do sistema de resfriamento do reator fazendo com que o fluxo de água diminuísse bastante, nesse momento a reação de fissão nuclear tinha aumentado drasticamente e boa parte da água começava a evaporar por causa das altas temperaturas, automaticamente a potência do reator subiu em questão de segundos fazendo com que os alarmes dos painéis comesçassem a tocar indicando alguma falha, nessa



hora o reator transformou-se em uma verdadeira bomba relógio, O chefe da equipe, Anatoly Kurguza, ordenou então o encaixe das barras de controle, as quais, apesar de serem constituídas de boro, possuíam grafite na ponta e ao penetrarem no núcleo, a potência subiu de 7% para 50% em apenas 3 segundos (LIMA *et al* 2020), com o abaixamento das barras as mesmas foram derretidas pelo fato da grande temperatura e devido a isso a pressão do vapor d água era extremamente forte juntamente com a grande quantidade de energia liberada pela fissão nuclear, alguns trabalhadores relataram que as tampas das hastes de controle do reator estavam pulando sem parar devido à grande potência, e um detalhe é que essas hastes pesam mais de 250 kg cada, então devido a esses fatores o núcleo entrou em colapso total fazendo com que a tampa de mais de mais de 2000 toneladas fosse arremessada por muitos metros acima, o núcleo estava exposto bem como um grande material radioativo e devido a exposição do núcleo o oxigênio do ar acabou entrando em contato com o interior causando assim uma enorme explosão no reator 4.

De início a população de Pripjat não entendeu o que estava acontecendo. A mando do governo a população local foi evacuada rapidamente, contadores Geiger contabilizaram altos níveis de radiação a vários quilômetros de distância do epicentro da explosão. No epicentro vários bombeiros trabalhavam incansavelmente jogando areia para acabar com o fogo e trabalhadores no telhado da usina recolhiam destroços radioativos para jogar no reator, infelizmente diversos desses trabalhadores acabaram morrendo, bem como alguns bombeiros que perderam suas vidas ao entrarem no prédio, o que conseguiram evitar uma segunda explosão que de acordo com especialistas seriam mais potentes do que as bombas de Hiroshima e Nagasaki. A nuvem radioativa pode ser contabilizada por detectores de radiação das usinas suecas. A União Soviética demorou muito em emitir esclarecimentos, a notícia só chegou às mídias russas depois da Suécia pressionar o governo soviético exigindo explicações sobre o acontecido (ZAPATEIRO 2020). Diversas pessoas desenvolvem doenças como o câncer e posteriormente uma grande taxa de mortalidade proveniente da radiação, diversos grupos antinucleares surgiram com mais furor alegando a periculosidade da radiação, o desastre nuclear também contribuiu para a queda da União Soviética, mas além das mortalidades daquele ocorrido, o que cresceu mais foi a descrença da maioria da população a respeito da radioatividade.

#### 4.6.6 DESASTRE NUCLEAR DE GOIÂNIA

Infelizmente a nação brasileira também foi palco de um dos acontecimentos mais

graves da história das américas, superando com facilidade Three Mile Island nos Estados Unidos. O ocorrido dessa vez não se trata de um acidente provocado em uma central, trata-se mais da questão de uma irresponsabilidade em descarte de material de contaminação radiológica. Esse desastre ocorreu por uma contaminação radioativa de césio-137 em diversos bairros da cidade de Goiânia. Esse desastre, é considerado o maior acidente radiológico do mundo (sem envolver uma planta industrial) (NUNES, 2020).

No ano de 1987, 1 ano após o desastre de Chernobyl, havia nas instalações do município goiano uma clínica particular de radiologia, e esse instituto médico mudou-se para novas instalações, deixando para trás um equipamento de radioterapia contendo uma cápsula de Césio-137, sem notificar a autoridade de licenciamento, conforme exigido nos termos da licença do instituto. Posteriormente, as antigas instalações foram parcialmente demolidas (SANTOS *et al* 2020). No dia 13 de Setembro de 1987, dois catadores encontraram em meio às ruínas um equipamento de radioterapia, e então os mesmos manipularam o equipamento a fim de venderem ao ferro velho. Entre os pedaços da máquina que foram por eles carregados, encontrava-se uma cápsula que continha Césio-137, material altamente radioativo (LIMA, 2020), onde logo após foi violada e exposto um sal brilhante em forma de cloreto, o que eles não sabiam é que aquele se tratava do brilho da morte. O sal de césio-137 provavelmente adquiriu o brilho pelo fato de entrar em contato com o ar atmosférico, encantados por essa luminescência eles guardaram consigo o conteúdo e o grande lacre de chumbo foi levado ao ferro velho para ser vendido. Durante o manuseio de tal elemento, várias pessoas da vizinhança vieram para ver o fenômeno brilhante, alguns fragmentos foram distribuídos em diversas residências em um período de aproximadamente cinco dias o que foi mais que suficiente para a contaminação se espalhar.

Muitas pessoas procuraram o centro médico sem saber explicar direito o que estavam sentindo, durante esses dias pessoas de um bairro inteiro de Goiânia sentiram sintomas da contaminação. O caso mais grave e também comovente, foi o caso da filha do catador que manipulou o sal radioativo esfregando na pele e nas mãos sendo atraída pela luminescência, a mesma infelizmente ingeriu um pedaço de pão com as mãos já contaminadas. O isótopo radioativo do césio-137 é uma sal em forma de cloreto com características radioativas perigosas (emite partículas  $\beta$  e tem vida média de 30 anos), é um sal solúvel em água muito semelhante ao sal de cozinha comum e que portanto é absorvido pelo organismo com extrema facilidade (ZAPATEIRO 2020). Após passado cerca de 15 dias do desmanche da peça, um físico local constatou que a amostra manuseada pelos catadores se tratava de um sal radioativo, e concluiu de imediato que o sintoma da doença que tinha se

instalado era na verdade uma contaminação radioativa, alertando assim a comissão nacional de energia nuclear (CNEN). Reconhecendo a gravidade do incidente, a CNEN solicitou ajuda da International Atomic Energy Agency (AIEA). “As autoridades estabeleceram uma área de triagem para pessoas contaminadas no estádio olímpico, onde foram improvisadas barracas para alojamento” (SANTOS *et al* 2020). Em decorrência a essa contaminação várias pessoas tiveram complicações graves de saúde, a exemplo da filha do catador que faleceu devido a contaminação radioativa, tendo de ser sepultada em uma urna funerária de chumbo e enterrada no concreto, para que assim a radiação não se espalhasse. Algumas pessoas tiveram certas partes do corpo mutiladas em decorrência a essa contaminação e estima-se que cerca de 112.800 pessoas foram monitoradas simetricamente, e após a morte das duas primeiras pessoas os médicos se recusaram em fazer a necropsia pelo risco de contaminação.

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) mantém um programa em biodosimetria há várias décadas e recomenda que o conhecimento nesta área seja empregado para orientar a resposta em caso de emergência radiológica (DATESMAN, 2020).

O governo naquela época não emitiu de imediato informações sobre o ocorrido fazendo assim com que várias pessoas se dirigissem até o estádio olímpico onde essas do acidente estavam isoladas, essa falta de informação levantou o imaginário da população local sobre o perigo da radioatividade se espalhar como um “vírus da gripe” gerando pânico na população local que buscava desordenadamente sair de locais próximos dos bairros contaminados.

Esse acidente, colocou em dúvidas na nação o uso da radioatividade, pois pessoas que nunca ouviram falar sobre o assunto mas viram de perto o estrago causado, acreditavam que tratava-se de algo mortal para as pessoas, e Esses fatores associados a essa irresponsabilidade da clínica de ter descartado esse material radioativo de forma inadequada, e da falta de ação do governo da época em poder ter uma ação imediata mediante a emergência, faz ainda com que o tema da radioatividade seja encarado com os mesmos olhos da discórdia.

#### 4.6.7 ACIDENTE NUCLEAR DE FUKUSHIMA

Passados muito tempo desde os acontecimentos mencionados acima, no ano de 2011 voltamos a ter em cena um outro desastre nuclear, dessa vez não foi provocado por falha humana e muito menos por falha mecânica, o acidente na central nuclear de Fukushima no Japão foi resultado de um evento natural, sendo provocado por um terremoto seguido por um

tsunami.

Na madrugada de 11 de Março de 2011 cerca de 130 km da costa leste do Japão, ocorreu um terremoto de magnitude 9,1 na escala Richter, o tremor que sacudiu a costa do Japão e uma boa parte do oceano, teve a capacidade de deslocar em cerca de 2,4 m a ilha de Honshu maior ilha do Japão (SIMÕES 2021). Na região do abalo sísmico, as placas tectônicas forçaram o mar para cima formando assim o tsunami. Na região estavam localizadas cerca de 11 usinas nucleares (ZAPATEIRO 2020), sendo que a preocupação maior era com duas centrais nucleares localizadas próximo ao epicentro do terremoto onde uma delas era exatamente a usina nuclear de Fukushima e na mesma região onde ocorreu o tremor de terra estavam localizadas 11 usinas sendo que todas entraram em processo de desligamento. Algumas horas após o tremor, veio o tsunami, no momento do desligamento da operação, o reator ainda precisava ser resfriado mesmo que as reações em cadeia parassem. Quando a força das águas atingiu o prédio da usina, a mesma foi seriamente danificada bem como a barreira de contenção das águas, no momento em que a as bombas foram desligadas pelo corte de energia a temperatura dos reatores aumentou drasticamente fazendo com que os combustíveis radioativos se fundissem. Passado um certo período de tempo, então começou a vaziar vapor radioativo do reator 1, a pressão foi tão grande que o mesmo veio a explodir, liberando assim toneladas de radionuclídeos na atmosfera. No dia seguinte aconteceu a mesma situação com o reator número 3. O armazenamento de combustíveis do reator 4 começou a pegar fogo devido a temperatura elevada do prédio, sendo o suficiente para causar uma nova explosão. Bombeiros e socorristas arriscam-se para apagar o fogo com a água do mar e resfriar os combustíveis radioativos, diversas pessoas precisaram ser evacuadas do local. A tragédia de Fukushima foi considerada em maior escala do que as duas bombas lançadas em 1945, na questão de liberação de contaminantes radioativos.

A produção de energia nuclear (fissão) é um exemplo de uma tecnologia altamente estigmatizada (FLYNN, 2003) que, no início do seu desenvolvimento, foi apresentada (“framed”) como um símbolo do progresso tecnológico. Tal como mostrado por Gamson e Modigliani (1989), até à década de 1970 não havia qualquer discurso anti-nuclear nos mass media, mas este enquadramento positivo tornou-se negativo após os acidentes nas centrais de energia nuclear de Three Mile Island e Chernobyl (GAMSON e MODIGLIANI, 1989; FLYNN, 2003; *apud.* SCHMIDT *et al.* 2014)

O setor nuclear se ressentiu, até hoje, do impacto causado pelas bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki e pela explosão da usina de Chernobyl. A situação atual resulta de duas causas principais: a manipulação da opinião pública e a desinformação. Em geral, a noção de radioatividade é muito superficial, impregnada de preconceitos veiculados pela mídia ou por organizações pacifistas e grupos ecológicos. Observam-se atitudes de rejeição

por parte da maioria do grande público, que opina, embora não conheça o assunto (PELLICCIONE *et al.* 2005).

#### **4.7 Utilização da radioatividade para o benefício da sociedade mundial**

A radioatividade é utilizada para fins benéficos que garantem estado de bem-estar para a sociedade mundial. Na medicina radioatividade é utilizada para o tratamento de diversos tipos de câncer, tumores e outros tipos de doenças, suas doses para essa finalidade são controladas por médicos e físicos que trabalham nas clínicas que proporcionam os devidos tratamentos, onde as ondas ou partículas provenientes do material ionizante destroem as células do tumor impedindo assim a sua multiplicação bem como o seu avanço, podendo muitas das vezes ser uma aliada para a cura de vários tipos de câncer. “A maioria dos pacientes com câncer é tratada com radiação e o resultado costuma ser positivo. O tumor pode desaparecer e a doença ficar controlada, ou, até mesmo, curada” (INCA 2023).

Além da medicina podemos encontrar o emprego da radioatividade na agricultura, e em frigoríficos provenientes da pecuária, onde muitos alimentos frescos que são processados não passam por métodos de eliminação bacteriana convencionais como a pasteurização térmica, então Sendo assim, para impedir o crescimento de agentes produtores da deterioração, esses alimentos são submetidos a radiações que destroem fungos e bactérias (SOUZA 2023)

Temos também a utilização mais conhecida da radioatividade, seu emprego na geração de energia elétrica, a energia nuclear é a única alternativa para produção de uma grande quantidade de energia de maneira rápida (ROCHA e DELFINO, 2013) onde muitas nações detém essas tecnologias empregadas em suas matrizes energéticas a fim de suprir a necessidade da população. A obtenção dessa energia se dá por reações nucleares do mesmo tipo que nas bombas atômicas, mas diferentemente das bombas nucleares, a fissão nuclear é controlada que em comparação com as bombas as reações nucleares em cadeia são descontroladas a ponto de a mesma não suportar a quantidade de energia liberada.

Na realidade, em cada reação de fissão nuclear resulta, além dos núcleos menores, dois a três nêutrons, como consequência da absorção do nêutron que causou a fissão. Torna-se, então, possível que esses nêutrons atinjam outros núcleos de urânio-235, sucessivamente, liberando muito calor (PINTO *et al.*, XX).

Ainda falando sobre a obtenção de energia, a radioatividade ainda serve de instrumento de pesquisa para a comunidade científica que tem cobijado a vários anos a

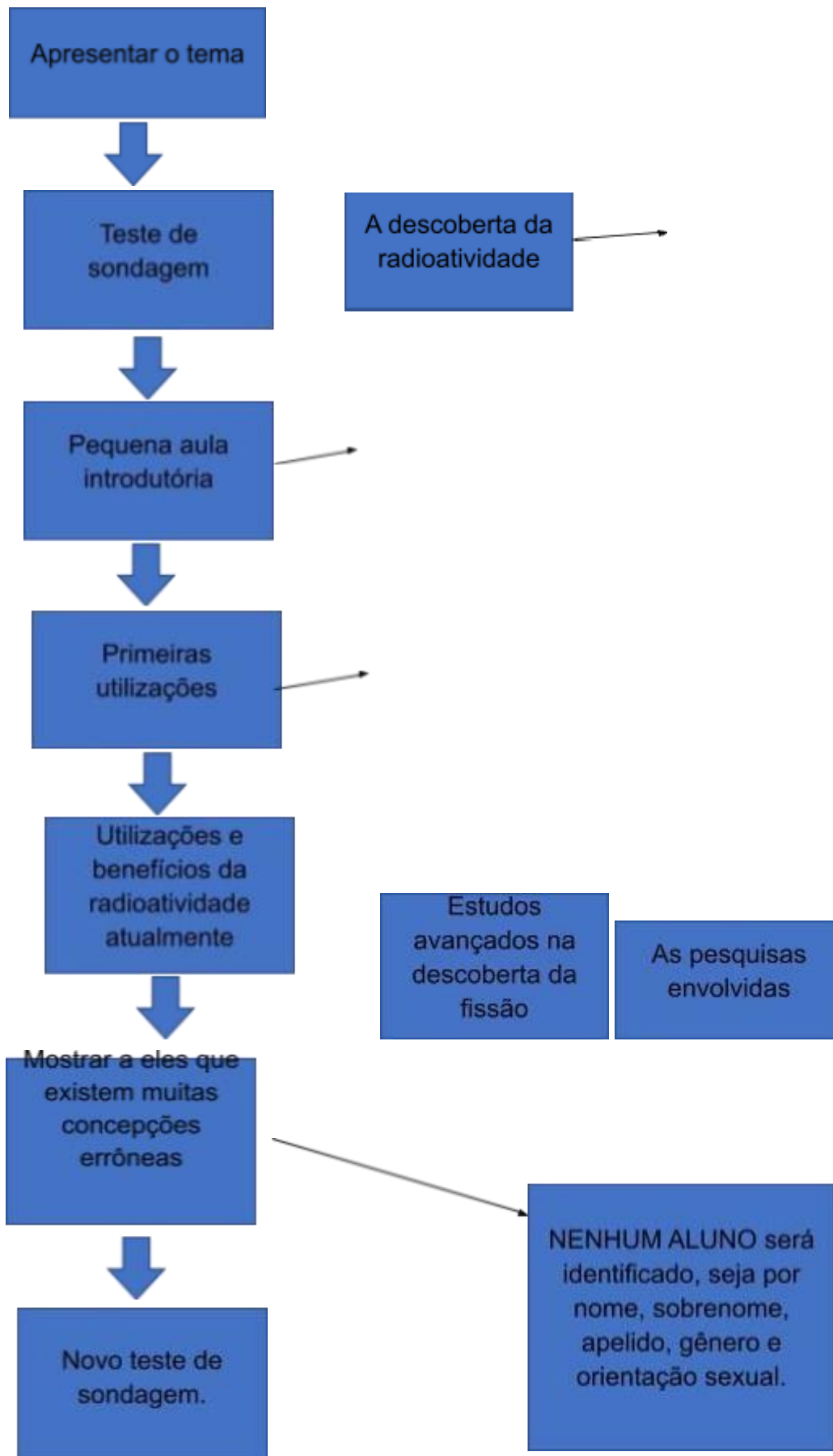
possibilidade da obtenção da tão aguardada fusão nuclear, que empregada a geração de energia elétrica torna-se praticamente inesgotável, sendo que a reação de fusão nuclear é capaz de gerar uma quantidade de energia centenas de vezes maior do que uma reação de fissão nuclear (WILTGEN 2022).

## 5 METODOLOGIA

Nessa análise qualitativa e quantitativa, será trabalhado o contexto da retrospectiva dos desastres e acidentes, tendo a finalidade de fazer os 27 alunos do curso técnico integrado de agropecuária entenderem que para as centrais nucleares chegarem a uma margem de segurança favorável na atualidade, a tecnologia atômica ainda precisou de pesquisas com objetivo de garantir segurança. Trazer essa retrospectiva será importante, pois assim os alunos poderão saber com mais detalhes sobre a história de como esses desastres ocorreram, e que possam ter em mente de que a radioatividade é algo que exige uma manipulação com o máximo de atenção até nos mínimos detalhes, pois a mesma se trata de uma ferramenta científica que proporciona um benefício útil para a humanidade.

A metodologia inicialmente consistiu na aplicação de um teste de sondagem (onde não houve identificação por nome) que teve como finalidade investigar o aprendizado dos alunos acerca do tema. Posteriormente, os estudantes distribuíram entre si o teste de modo que cada aluno visualizasse a resposta de outro aluno dando a entender os diferentes argumentos e conhecimentos sobre a radioatividade. Seguidamente houve um tempo para que os mesmos pudessem expor oralmente suas opiniões sobre as perguntas feitas pelo teste de sondagem, despertando a discussão coletiva. Logo após, utilizando recursos multimídia, uma breve aula expositiva sobre o tema foi feita, dispondo de uma apresentação de projeção, apresentando uma sequência didática desde a descoberta até os desastres radioativos. Na parte explicativa dos desastres radioativos foi passado um vídeo explicativo sobre o acidente radiológico do césio-137 enfatizando a história de como ocorreu esse desastre, consequente da falta de informação educacional básica. A abordagem do filme, além de retratar o foco central que é o acidente, também vem mostrar as consequências sociais que a falta do conhecimento básico pode trazer, pois para pessoas comuns daquela época não havia o pleno conhecimento de o que seria um material emissor de radiação, informação essa que é fornecida pela escolaridade.

Buscou-se executar a presente metodologia conforme o fluxograma seguir:





## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados pela metodologia aplicada em sala de aula foram frutos do primeiro e do último teste de sondagem. Inicialmente os estudantes tiveram uma interpretação muito equivocada do que seria a radioatividade e a importância de sua utilização.

Figura 4 – Primeiro teste de sondagem.

### TESTE DE SONDAÇÃO I.

#### RADIOATIVIDADE.

- 1-) O século XX foi uma era de grande inovação tecnológica. Uma dessas inovações no campo científico foi a descoberta da radioatividade por Henry Becquerel. Para você o que é radioatividade? Por que ela inovou tanto o mundo científico do século XX?
- 2-) De acordo com a resposta anterior, indique quantos tipos de radiações existem, e informe cada uma delas.
- 3-) Em sua opinião, a radioatividade no início de seu uso teve impactos positivos para a sociedade daquela época?
- 4-) Houve algum impacto negativo que essa tecnologia trouxe no tempo em questão?
- 5-) Quais são os benefícios que a radioatividade pode trazer atualmente?
- 6-) Atualmente existe algum impacto negativo que as tecnologias nucleares podem trazer?
- 7-) Em que lugar você já ouviu falar sobre radioatividade?  
a-) () Televisão b-) () Livros c-) () internet d-) () outros meios de comunicação.
- 8-) Em poucas palavras, escreva de acordo com o seu entendimento sobre essa temática da radioatividade.

Fonte: Autoria própria, 2024.

O primeiro teste de sondagem consistiu em poder investigar primeiramente qual seriam as concepções dos alunos sobre o tema. Os resultados iniciais do teste de sondagem mostraram-se alinhado ao que Almeida (2018), Silva (2007) e Freitas e Brissi (2020) concluíram a respeito de como a maioria dos estudantes vêem sobre o tema, ou seja, interpretações equivocadas sobre a radioatividade, tendendo a relacioná-la sempre como algo negativo.

Analisando a primeira pergunta do teste, “O século XX foi uma era de grande inovação tecnológica. Uma dessas inovações no campo científico foi a descoberta da radioatividade por Henri Becquerel. Para você o que é a radioatividade? Por que ela inovou tanto o mundo científico do século XX?” 6 alunos apresentaram uma interpretação positiva

do que é a radioatividade representando cerca de 22% do total da sala. Os demais 21 alunos restantes tiveram concepções incorretas sobre a temática, representando cerca de 78% dos demais alunos, como mostra o gráfico a seguir.

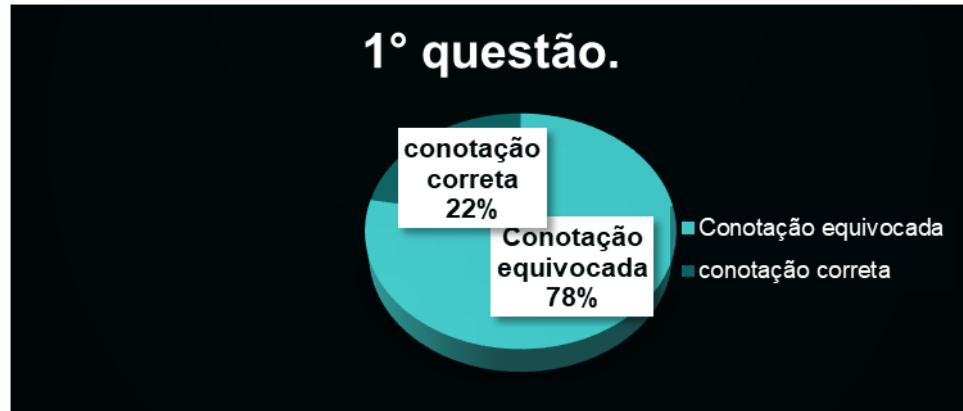


Figura 6: Análise da primeira questão. Fonte: Autoria própria (2025)

Examinando a resposta dos estudantes, logo na primeira pergunta, fica evidente que ambas as respostas carecem de termos e explicações técnicas, assim podendo ainda pela primeira pergunta enfatizar que realmente o tema não é muito bem avaliado pelos estudantes.

Na segunda pergunta do teste de sondagem em que dizia, “De acordo com a resposta anterior, identifique quantos tipos de radiação existem e informe cada uma delas”. Como a maioria das respostas da questão anterior, há carência de informações científicas e a segunda questão dependia da resposta da anterior, 13 alunos responderam incorretamente representando uma porcentagem de 48% da turma, 7 alunos conseguiram êxito nas respostas totalizando cerca de 26% dos demais alunos, 5 alunos responderam que “existem 3 tipos” porém não obtiveram sucesso em descrever quais radiações eram essas, sendo cerca de 19%, e por fim apenas 2 alunos não souberam responder representando um número percentual de 7% como mostra o gráfico a seguir.

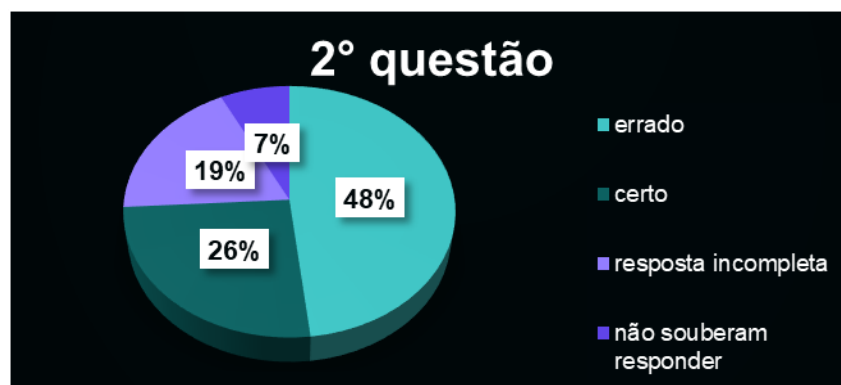


Figura 7: Análise da segunda questão. Fonte: Autoria própria (2025)

Pode-se alegar por essa resposta que o nível de conhecimento sobre a temática é

baixo, tendo em vista que a maioria dos alunos não responderam a segunda questão.

Na pergunta de número três que dizia, “Em sua opinião, a radioatividade no início do seu uso teve impactos positivos para a sociedade daquela época?” 19 alunos responderam que “não”, baseados nos acontecimentos desastrosos como “as bombas atômicas e acidentes nas usinas” totalizando um número percentual de 70% da turma. Já 6 alunos responderam que “sim” lembrados pelo uso na saúde, totalizando cerca de 22%. Outros 2 alunos não souberam responder a essa pergunta totalizando então cerca de 8% dos alunos da sala, como mostra o gráfico a seguir.

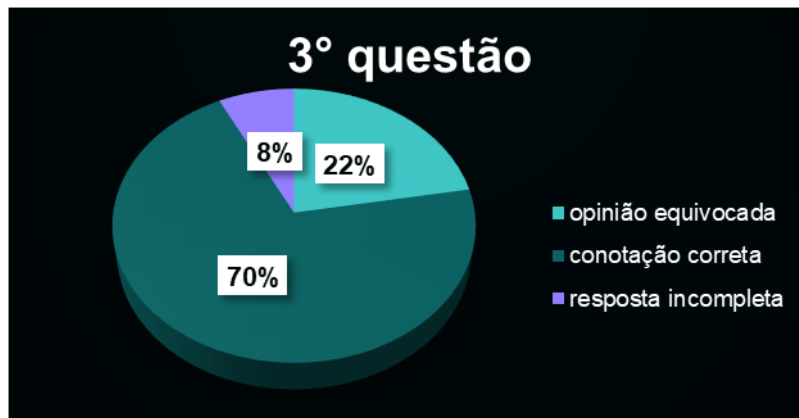


Figura 8: Análise da terceira questão. Fonte: Autoria própria (2025)

Pela análise das respostas nessa pergunta, fica evidente que parte do conhecimento sobre a temática foi adquirido graças ao conhecimento histórico da segunda guerra mundial, na utilização da bomba atômica e, como consequência desse evento, a contaminação pela radiação de uma grande área no Japão.

Na quarta interrogativa, “Houve algum impacto negativo que essa tecnologia trouxe no tempo em questão?”, um número de 25 alunos responderam que sim, mostrando um percentual de cerca de 93% da sala. Os demais 7% que responderam “não” eram 2 estudantes. O gráfico a seguir mostra o resultado estatístico para essas respostas.

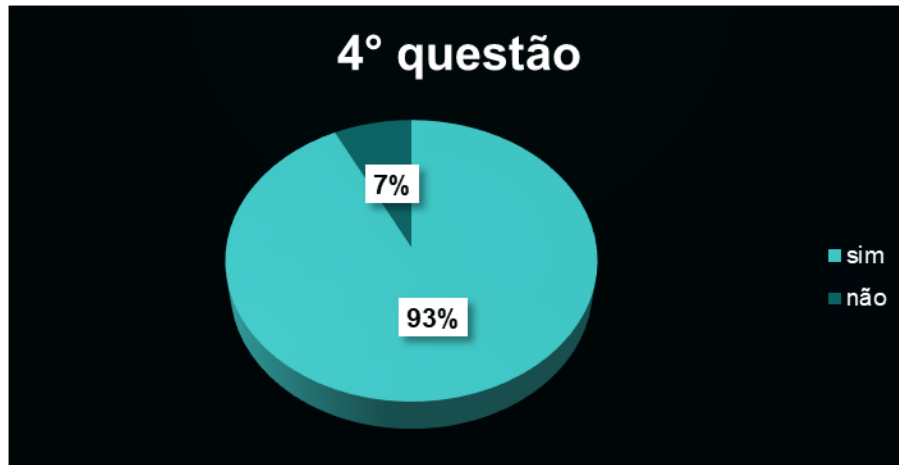


Figura 9: Análise da quarta pergunta. Fonte: Autoria própria (2025)

Pelas respostas das perguntas iniciais já era de se esperar que os estudantes afirmassem o lado negativo da radioatividade, pois o que eles mais lembraram relacionado à radioatividade foi o seu uso nas bombas que foram lançadas sobre o Japão.

Na quinta pergunta, “Quais são os benefícios que a radioatividade pode trazer atualmente?”, Cerca de 24 tiveram uma resposta favorável quanto a utilização da radioatividade atualmente, totalizando cerca de 84% dos estudantes. Três alunos tiveram respostas totalmente equivocadas, representando 11% da turma, como mostra o gráfico a seguir.

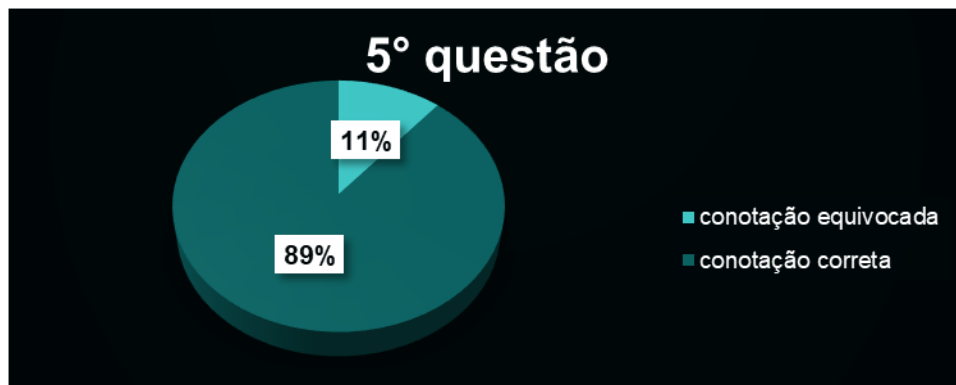


Figura 10: Análise da quinta questão. Fonte: Autoria própria (2025)

Pela quinta pergunta, pode-se então perceber o razoável conhecimento dos alunos pela temática da radioatividade.

Em relação à sexta pergunta, “Atualmente existe algum impacto negativo que as tecnologias nucleares podem trazer?”, 25 estudantes responderam que “os impactos foram negativos” totalizando em valores percentuais 93%, 2 estudantes não souberam responder

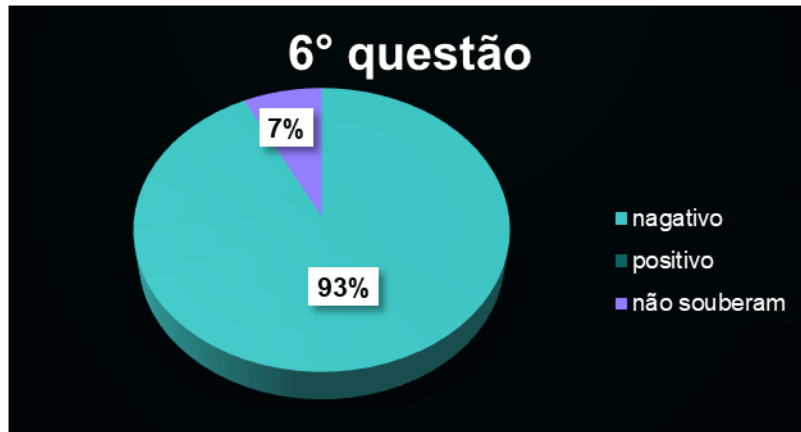


Figura 11: Análise da sexta pergunta. Fonte: Autoria própria (2025)

Nesta análise, nota-se que os estudantes têm um conhecimento pela temática baseado nos desastres provocados pelo ser humano, e que tem colocado essa tecnologia atômica como “vilã”.

Na sétima e última pergunta, “Em que lugar você já ouviu falar sobre radioatividade? (a) televisão; (b) livros; (c) internet; (d) outros meios de comunicação”, a maior parte das respostas foram associadas a letra “A” e a alternativa “C”, mostrando assim que a temática ainda ganha espaços nos noticiários, relatando algum acontecimento envolvendo a radioatividade. Poucos alunos escolheram as alternativas “B” e “D”.

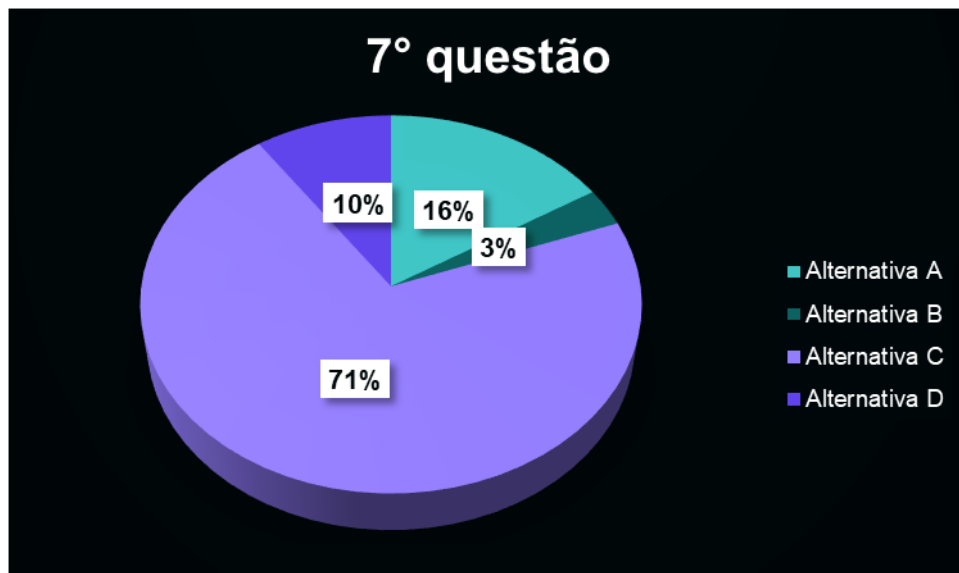


Figura 12: Análise da sétima questão. Fonte: Autoria própria (2025)

Na primeira aplicação do teste de sondagem verifica-se que o pouco que os estudantes sabem a respeito dessa temática está enraizado em acontecimentos trágicos como

os da segunda guerra mundial e o acidente de Goiânia, o que alimenta ainda mais esses tipos de interpretações equivocadas. Logo após a aplicação do teste de sondagem para investigar as concepções dos alunos, foi feita com eles uma aula expositiva explicando realmente o que é radioatividade assim, possibilitando contornar interpretações errôneas a seu respeito, permitindo que os estudantes percebam que essa tecnologia só se torna realmente perigosa quando é manipulada com uma finalidade que não contribua socialmente para o desenvolvimento humano. As tecnologias nucleares, seja ela para uso na saúde ou fornecimento de energia elétrica depende da maneira com que a mesma é manipulada. A partir da aprendizagem significativa, os alunos podem se tornar cidadãos mais conscientes do seu papel na sociedade e mais críticos em relação às informações que recebem, que nem sempre estão corretas (Lima, 2015). Após a apresentação da aula, dos esclarecimentos técnicos, de ter abordado todo o histórico da radioatividade, desde sua descoberta passando pelos desastres até os dias de hoje, foi então realizado o último teste de sondagem apenas para verificar o que mudou de suas concepções.

Examinando então as respostas da primeira pergunta, todos os estudantes assinalaram com convicção a segunda alternativa, indicando assim que além de terem prestado atenção na explicação algo mudou significativamente nas suas concepções a respeito da temática, relacionando a ação de profissionais em manipular determinadas tecnologias atômicas dependendo da finalidade em que será usada.

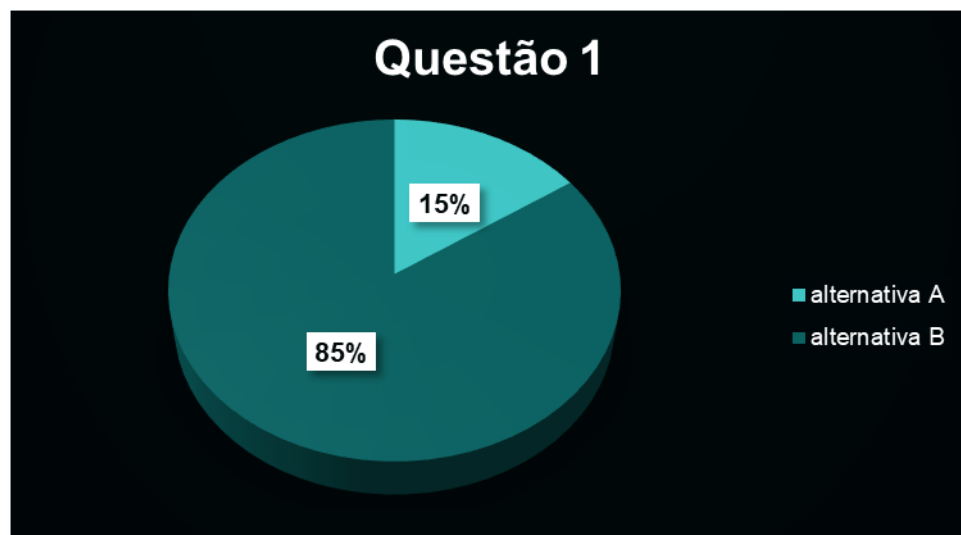


Figura 13: Análise da primeira questão do questionário final. Fonte: Autoria própria

## TESTE DE SONDAÇÃO II

1-) Assinale a alternativa a respeito dos perigos que a radioatividade apresenta

() É muito perigosa e causa graves consequências pra quem não sabe de seu perigo, como o acontecido em Goiânia.

() Dependendo da finalidade que a mesma é utilizada, pode sim trazer riscos mas ao ser manipulada por profissionais qualificados, não representa uma ameaça.

2-) Essas informações contribuíram para seu aprendizado sobre a temática?

3-) qual a importância de uma temática como essa ser tratada de forma objetiva e contextualizada?

4-) O quão é importante estudar sobre um assunto antes de ter uma interpretação errônea?

Figura 14: Questionário final. Fonte: Autoria própria, 2024.

Analisando os resultados coletados das respostas da pergunta número dois, os estudantes responderam que “sim” como mostra o gráfico a seguir.

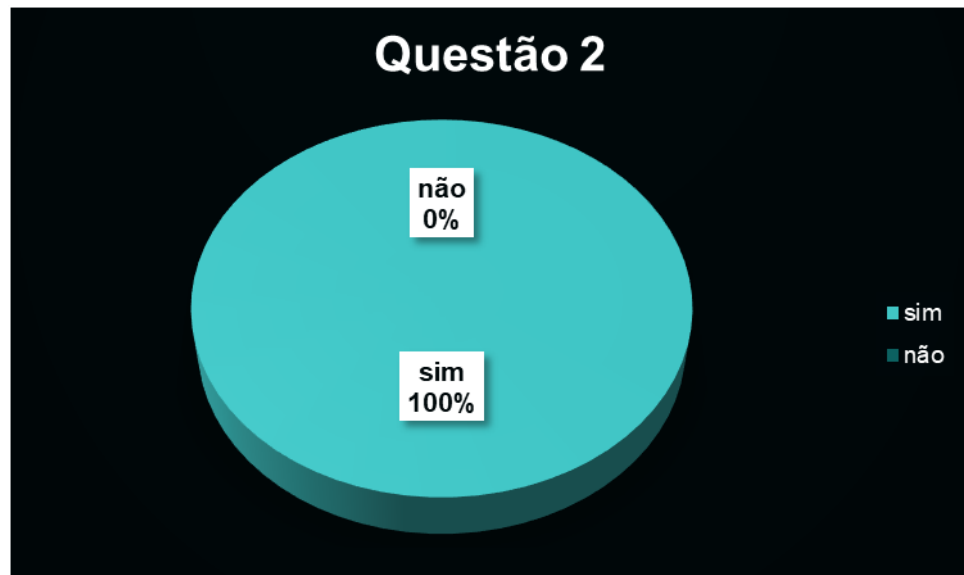


Figura 15: Análise da questão número dois. Fonte: Autoria própria.

Esse tipo de resposta indica que houve um bom desenvolvimento das aulas com os estudantes sobre a temática. É possível dizer que com estas aulas, o conhecimento equivocado de muitos alunos sobre essa temática pode ser desmistificado com êxito.

Nas respostas da terceira pergunta, parte da sala respondeu que “é mais fácil aprender sobre o que de fato é essa ciência de uma maneira bem didática, visto que trata-se de

um tema em que é preciso levar em consideração que na prática ocorreram muitos desastres devido ao seu uso descontrolado e sem conhecimento”; os demais alunos responderam que “é importante apresentar um tema de complexidade, observando o que de bom esse tema pode trazer; no caso da radioatividade, só tínhamos conhecimento das coisas ruins que aconteceram, e de fato é muito difícil parar para pensar nos benefícios que essa ciência pode trazer”.

Na quinta e última questão, os estudantes responderam que “ realmente antes de tirar conclusões precipitadas sobre uma ciência a qual sempre ouvimos falar de algo ruim sobre ela, precisamos entender como esse “algo ruim” foi causado estudando de fato sobre o assunto, para que assim possamos estar atentos para não errarmos nem nos equivocarmos”.

É notório perceber que houve uma grande diferença de respostas do primeiro para o segundo teste de sondagem, pelo motivo simples de apresentar para os alunos termos técnicos corretos a respeito dessa ciência e de corrigir as interpretações equivocadas.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Abordar um tema complexo não é uma atividade fácil, visto que os alunos podem ter interpretações equivocadas se forem apresentadas apenas determinados aspectos do tema em questão, focando em seus pontos negativos, por exemplo. Com a temática da radioatividade é preciso que sejam trabalhados de forma mais contextualizada, explorando o que o aluno sabe a respeito da temática. A respeito do estudo realizado, houve alunos que inicialmente tiveram uma interpretação um tanto que equivocada a respeito do tema, só depois de ter apresentado aos mesmos uma aula contextualizada levando em consideração os pontos positivos e negativos, foi que então a concepção dos mesmos mudaram significativamente, para que assim, quando o estudante concluir o ensino médio, não dissemine para terceiros informações equivocadas sobre um assunto. Também é importante relatar que esse estudo foi objetivado em uma turma de uma determinada instituição, logo, se conclui que para haver um levantamento mais expressivo em termos de quantidade, é preciso que tal pesquisa investigativa sobre o tema seja examinado com um maior número de alunos e consequentemente de instituições.

## REFERÊNCIAS

- BOUZON, J. D. *et al.* O Ensino de Química no Ensino CTS Brasileiro: Uma Revisão Bibliográfica de Publicações em Periódicos. **Química Nova na Escola**, [s. l.], 2018. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/artigos/11-CP-69-17.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2024.
- DATESMAN, A. M. Radiobiological shot noise explains Three Mile Island biodosimetry indicating nearly 1,000 mSv exposures. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 10933, 2020.
- ALMEIDA, W. S. **Como é discutido a Radioatividade e Energia Nuclear no Ensino Médio**, [s. l.], 2018.
- NUNES, A. L. A CIDADE E O DESASTRE. **A CIDADE E O DESASTRE GOIÂNIA (GO) E O CÉSIO-137**, [s. l.], 2020.
- CREA, P. J. A. CHERNÓBIL. DAÑO Y RESPONSABILIDAD. DE LA MAYOR CATÁSTROFE NUCLEAR AL RENACER AMBIENTAL. *Revista Iberoamericana de Derecho, Cultura y Ambiente* [s. l.], 2022.
- FIORI, R.; GOI, M. E. J. O Ensino de Química na plataforma digital em tempos de Coronavírus. **Revista Thema**, [s. l.], v. 18, p. 218–242, 2020.
- FELLIPETO, I. D. F.; MALDANER, O. A. PANSERA DE ARAÚJO, M. C. Estado do conhecimento sobre sustentabilidade, educação ambiental e agrícola no ensino de Química no Ensino Médio. **Revista Insignare Scientia - RIS**, [s. l.], v. 4, n. 6, p. 127–144, 2021.
- FREITAS, F. B.; BRISSI, D. A. FUSÃO NUCLEAR: HISTÓRIA, PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS PARA O FUTURO. [s. l.], 2020.
- MARTINS, R. D. A. AS PRIMEIRAS INVESTIGAÇÕES DE MARIE CURIE SOBRE ELEMENTOS RADIOATIVOS. [s. l.],
- NETO, M. H. D. S. ENSINO DA QUÍMICA NA PEDAGOGIA HISTÓRICO-CRÍTICA: CONSIDERAÇÕES SOBRE CONTEÚDO E FORMA PARA PENSARMOS O TRABALHO PEDAGÓGICO CONCRETO. **Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 271–293, 2022.
- MIGUEL, F. L. F. EFEITOS AMBIENTAIS RESULTANTES DO USO DAS TECNOLOGIAS NUCLEARES. [s. l.], 2020.
- PEREIRA, P. R. D. S.; SILVA, K. N. P. TRABALHO DOCENTE E ENSINO DE QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO INTEGRAL. **Educação: Teoria e Prática**, [s. l.], v. 29, n. 61, p. 404–421, 2019.
- PORTAL, J. C. G. Desastre nuclear, espaço e trauma: Uma oração à Tchérnobil a partir de Svetlana Aleksievitch. **Oficina do Historiador**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. e37848, 2020.
- ROCHA, É. G. D.; DELFINO, M. S. D. C. Nuclear fission and fusion: present and future of

human use of nuclear energy. **Revista CAITITU - aproximando pesquisa ecológica e aplicação**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 125–129, 2013.

SALGUEIRO, L.; FERREIRA, J. M. OS PRIMEIROS ANOS DA DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE. [s. l.], v. 19, 1996.

SANTOS, M. T. D. R.; SILVA, M. V. D. C.; CARDOSO, T. A. D. O. Sistema de Comando de Incidentes e comunicação de risco: reflexões a partir das emergências nucleares. **Saúde em Debate**, [s. l.], v. 44, n. spe2, p. 98–114, 2020.

SANTOS, V. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL COLÉGIO DE APLICAÇÃO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA QUÍMICA. [s. l.], 2020

SOLA AYAPE, C.; SOTELO FUENTES, M. F. La bomba atómica después de Hiroshima y Nagasaki. El difícil camino hacia el control de la energía nuclear. **EN-CLAVES del pensamiento**, [s. l.], n. 28, p. 52–85, 2020.

LOPES, C. V. M, MARTINS, R. A. THOMSON, J.J. THOMSON E O USO DE ANALOGIAS PARA EXPLICAR OS MODELOS ATÔMICOS: O ‘PUDIM DE PASSAS’ NOS LIVROS TEXTO. [s. l.], 2009.

WILTGEN, F. FUTURO REATOR A FUSÃO NUCLEAR DO TIPO TOKAMAK – MÁQUINA DE ENGENHARIA DESAFIADORA. [s. l.], 2022.

ZAPATERO, G. A. JORNAL INFORMATIVO: ACIDENTES RADIOATIVOS. [s. l.], 2020.

Física das Radiações: Uma Proposta para o Ensino Médio Bloco 1 1 Texto Suplementar: Vendo através da pele: a descoberta dos Raios X 1. (n.d.).

Alysson Benite de Freitas, R., & Fernandes Vaz, W. (n.d.). O ENSINO DE RADIOATIVIDADE EM QUÍMICA E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL CRÍTICA SOB O ASPECTO DA RACIONALIDADE The Teaching of Radioactivity in Chemistry and Critical Environmental Education Under the Aspect of Rationality. <http://orcid.org/0000-0003-0295-5903>

Pinto, I., Mendonça De Lima, A. J., Paulo De Lima, P., Braz, S. C., & Pestana, S. (n.d.). Energia Nuclear Apostila educativa Por ELIEZER DE MOURA CARDOSO Colaboradores. [www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br)

Humberto Santos de Lima, I., Tereza Pinheiro Melo, G., Frassinetti Pereira Carneiro, P., & Ely Almeida Andrade, M. (n.d.). ACIDENTE NUCLEAR DE CHERNOBYL: OS EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO.

XAVIER, Allan Moreira *et al.* Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química nova**, v. 30, n. 1, fev. 2007 disponível em <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000100019>. Acesso em: 15 maio 2024.

GONZALES, A. **Terça-feira, 15 Crônica de um desastre anunciado no Reino Unido.** Disponível em:

<<https://g1.globo.com/natureza/blog/nova-etica-social/post/cronica-de-um-desastre-anunciado-no-reino-unido.html>>. Acesso em: 20 out. 2023.

SANTIAGO, Emerson. **Corrida Armamentista – história**. 12 mar. 2012. Disponível em: <https://www.infoescola.com/história/corrida-armamentista>. Acesso em: 24 maio 2024.

GOMES, Giovana. **Ajudou a salvar soldados: a importância de Marie Curie na primeira guerra mundial**. 22 fev. 2021. Disponível em: <https://aventurasnahistória.uol.com.br/notícias/reportagem/ajudou-a-salvar-soldados-a-importancia-de-marie-curie-na-primeira-guerra-mundial.phtml>. Acesso em: 24 maio 2024.

SCHMIDT, Luísa; HORTA, Ana; PEREIRA, Sérgio. O desastre de Fukushima e seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear. **AMBIENTE & SOCIEDADE**, V. 17, n. 4, p. 233-250, des. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asocex003v1742014>. Acesso em: 24 maio 2024.

FOGAÇA, J. R. V. **Emissões radioativas alfa, beta e gama**. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/emissoes-radioativas-alfa-beta-gama.htm>>. Acesso em: 14 set. 2023.


PELLICCIONE, N. B. et al. **O radônio-222 como instrumento na comunicação e informação sobre a Radioatividade natural**. International Nuclear Atlantic Conference, Santos, São Paulo, Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN, p. 1-5, 2005.

LISBOA, J. C. F. **Química 2º ano: ensino médio. Ser Protagonista**. 1 ed. São Paulo: Edições SM, 2010.

FONSECA, M. R. M. **Química 3º ano: ensino médio**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2013.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: Compromisso com a cidadania**. 4. ed. Injuí:Unjuí, 160 p. 1997.

LIMA, J. C. A. **Radioatividade: UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM CTS**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA INSTITUTO DE QUÍMICA. n.º. 1. 2015

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Sousa - Código INEP: 25018027
	Av. Pres. Tancredo Neves, S/N, Jardim Sorrilândia III, CEP 58805-345, Sousa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0004-18 - Telefone: None

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Entrega do TCC

<b>Assunto:</b>	Entrega do TCC
<b>Assinado por:</b>	Carlos Nicioli
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Carlos Eduardo Nicioli, ALUNO (202018740036) DE LICENCIATURA EM QUÍMICA - SOUSA**, em 11/04/2025 09:02:45.

Este documento foi armazenado no SUAP em 11/04/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1457072

Código de Autenticação: 3f2ba11191

