



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Curso de licenciatura em Física

Proposta pedagógica de ensino da radiação com enfoque CTSA à  
luz de uma pedagogia histórico-crítica baseada na justiça social

**João Gabriel Milare Manzolillo**

Orientadores:

Antonio Carlos Fontes

Vitor Acioly

## CIP - Catalogação na Publicação

MM296p

Milare Manzolillo, João Gabriel  
Proposta pedagógica de ensino da radiação com  
enfoque CTSA à luz de uma pedagogia histórico-crítica  
baseada na justiça social / João Gabriel Milare  
Manzolillo. -- Rio de Janeiro, 2021.  
114 f.

Orientador: Antonio Carlos Fontes dos Santos.  
Coorientador: Vitor Acioly Barbosa.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Física, Licenciado em Física, 2021.

1. Ensino de física. 2. Ensino de radiação. 3.  
CTSA. 4. Pedagogia histórico-crítica. 5. Justiça  
Social. I. Fontes dos Santos, Antonio Carlos,  
orient. II. Acioly Barbosa, Vitor, coorient. III.  
Título.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família pelo apoio e reforço durante todo período de minha graduação e para além em todo meu processo de aprendizado desde meus primeiros anos até agora. Grato a Milana Ribeiro Milaré, Marcio Bruno Hingst Manzolillo, Pedro Lucas Milaré Manzolillo e José Guilherme Milaré Manzolillo.

Agradeço também aos meus tios Bruno Lúcio Manzolillo, Bruno Marques e Marco Bruno Manzolillo assim como aos meus avós Maria Elisa Hingst, Bruno Lúcio Manzolillo e Marilda Manzolillo, tal como aos meus falecidos familiares que foram essenciais a minha formação humana e acadêmica José Milaré, Ana Ermenegilda Milaré e Pedro Marcelo Milaré.

De forma igual, agradeço a meus amigos que a mais de uma década me acompanham e me apoiam, Milana Prôa, João Vitor Pereira, Hugo Gabriel Vaz, Gustavo Salomão, Gustavo Andrade, Tomás Firmo de Albuquerque, Bruno Fhelipe, Mateus Almeida Cotrim, Matheus Scott, Marcelo Carneiro, Victor Ghissoni e Júlia Delvaux. De forma especial agradeço também a minha namorada Laura Monteiro Gomes por todo apoio e reforço durante a realização deste estudo.

Sou também grato aos idealizadores e produtores da ESPEM (Escola Sírius para Professores do Ensino Médio) que me oportunizaram participar e aprender com tamanho evento de valor intelectual inestimável. Assim como sou também grato a todos os professores que me acompanharam e me inspiraram ao longo dos meus estudos até o momento. Em destaque agradeço ao corpo docente do Instituto de Física da UFRJ, aos meus amigos também educadores em que me apoio e inspiro, Luma Zenha, Nelson Rodrigues e João Miranda.

Por fim, de forma especial agradeço pela orientação, paciência, inspiração, dedicação e amizade de meus orientadores Antonio Carlos Fontes e Vitor Acioly e pelo exemplo e inspiração de minha mãe Milana Ribeiro Milare, destacando a importância destes três educadores para a concretização e realização deste estudo.

# Resumo

Proposta pedagógica de ensino da radiação com enfoque CTSA à luz de uma pedagogia histórico-crítica baseada na justiça social

Analizando a falta de valorização cultural, financeira e social dos professores e da própria instituição escolar é inegável que passamos por uma crise do sistema educacional brasileiro na atualidade. Pensando nessa crise, propõe-se uma estratégia de reformulação e reestruturação do ensino da física de radiações, voltando o processo de ensino-aprendizagem para as práticas sociais dos alunos. Além disso, esta estratégia tenta estimular os debates sobre valorização e divulgação da ciência, utilizando-se de óticas científicas para discussões sobre justiça social e ambientalismo. Essa proposta não objetiva somente repensar o modo de ensinar a física de radiações, mas utilizar-se deste tema para redefinir a própria ciência, compreendendo-a a partir de um enfoque CTSA. Para além da compreensão e aplicação de fenômenos naturais, nesse enfoque vemos a ciência como uma visão de mundo e de sociedade compreendendo e analisando as práticas sociais a partir desses fenômenos naturais. Ademais, reestrutura-se a ideia de ciência contrariando os ideais positivistas de um conhecimento científico neutro, reafirmando seus valores e posicionamentos. Formando assim uma concepção crítica e social de ciência e a partir desta, reestruturando todo o pensar científico e seu processo de ensino-aprendizagem.

# Abstract

Pedagogical proposal of radiation education with a STSE focus and by the light of a historical-critical pedagogy based on social justice.

Analyzing the lack of cultural, financial and social appreciation of teachers and the school institution itself it's undeniable that we are going through a crisis in the Brazilian educational system nowadays. With this crisis in mind, a strategy for the reformulation and restructuring of the teaching of radiation physics is proposed, focusing the teaching-learning process on students and their social practices, stimulating the debates about science valorization and divulgation in addition to using scientific perspectives for discussions on social justice and environmentalism. This academic proposal is not only aimed at rethinking the way of teaching radiation physics, but using this theme to redefine science itself, understanding it from a STSE approach, where this one is beyond just understanding and applying natural phenomena, being a vision of the world and society that understands and analyzes social practices based on these natural phenomena. More than that, the idea of science itself is also restructured against the positivist ideals of a neutral science, reaffirming and valuing the non-neutrality of science, and its positions, forming a critical and social conception of science and from this, restructuring the whole scientific thinking and the teaching-learning process of science.

# Sumário

1- Introdução .....	01
2- Referenciais teóricos .....	07
2.1 - CTSA .....	08
2.2 - Alfabetização científica .....	16
2.3 - Educação ambiental .....	23
2.4 - Pedagogia histórico-crítica .....	25
2.5 - Justiça social .....	28
3- Contextualização .....	32
3.1 - Debate: A radiação faz mal para a saúde? .....	33
3.2 - Irradiação de alimentos e a utilização da radioatividade .....	36
3.3 O medo da radiação e nosso papel diante dele como divulgadores da ciência .....	40
4- Desenvolvimento teórico .....	47
4.1 - O que é radiação .....	49
4.2 - Radioativo vs. irradiado .....	52
4.3 - Emissões nucleares .....	56
4.4 - Séries radioativas .....	64
4.5 - Reações nucleares .....	67
5- Aplicação .....	73
5.1 - Radiação no Brasil .....	76
5.2 - Radiação na saúde .....	88
5.3 - Radiação e meio ambiente .....	94
5.4 - Acidentes e tragédias nucleares .....	99
6- Considerações finais .....	107
Referências bibliográficas .....	110
Tabela de siglas .....	

# 1. Introdução

A radioatividade e a energia nuclear sempre foram temas de destaque nas revistas, filmes e jornais que aguçam a atenção da população, tanto por se encantarem quanto por temerem tudo que é “radioativo” ou “nuclear”. No entanto, estes conceitos ligados à radiação de uma forma geral são temidos pela população pela falta de conhecimento de seus reais significados e do que realmente é radiação e onde ela está presente em nosso meio. Por consequência deste medo e desta desinformação é comum que pessoas se posicionem em situações que envolvam radiação sem um real entendimento dos conceitos científicos envolvidos e muitas vezes ignorando ou negando a utilização da ciência na análise da situação. Como explicam Damásio e Tavares:

Para um cidadão sem formação científica, ou mesmo em alguns casos com ela, algumas palavras acompanhadas de “nuclear” ou “radioativo” podem causar temor e até pânico. Medicina nuclear, usinas nucleares, alimentos irradiados, raios X, são temas que quase nunca estão entre os compreendidos pela maior parte da população. O símbolo radioativo causa arrepios em muitas pessoas e é usado por alguns para causar medo, e quase sempre surte efeito. (Damásio e Tavares, 2017, pg 3)

Essa formação de opinião e posicionamento quanto a um conceito científico sem um bom entendimento do mesmo não é exclusividade da radiação, tampouco a negação da ciência em uma situação social, sendo essas práticas, principalmente nos dias de hoje, comuns a diversas áreas e temas distintos da ciência. Todavia, pela popularidade do tema de radiações e pela aversão da maioria da população a tudo que é “radioativo” este tema foi escolhido.

Assim, neste trabalho realizaremos uma proposta de ensino de radiação baseada neste negacionismo científico e na importância de reconhecê-lo e desconstruí-lo. Além disso, reformula-se a ideia de ciência, considerando-a como uma perspectiva de mundo e um fator social, Revendo-a à luz de uma educação ambiental, e

utilizando-se de um enfoque nas relações entre ciências, tecnologia, sociedade e ambiente, ou no enfoque CTSA (Vianna, 2013). Isso almeja questionar a perspectiva que os alunos têm não somente da radiação mas das ciências de uma forma geral. Buscando sempre a alfabetização científica crítica e uma justiça social e inspirando-se na pedagogia histórico crítica de Saviani (Saviani, 1991). Nesta proposta objetiva-se produzir no aluno uma perspectiva de ciência como um fator social que está presente em todas as suas vivências e que poderá ajudá-lo em seus desafios e lutas sociais.

Para reformular a ideia que os alunos têm da radiação e da ciência, é preciso reformular inicialmente a prática de ensino e para tal, inspira-se na pedagogia da libertação de Paulo Freire (Freire, 1968) e em especial na transposição de Delizoicov desta pedagogia para o ensino formal de ciências para adolescentes (Delizoicov 1983). Propõe-se, portanto, um processo de ensino-aprendizagem não tradicional que interaja com as vivências do aluno permitindo-o ser não somente parte integrante mas o centro do processo de aprendizagem. Partindo do ideal de Freire de um ensino que faça sentido ao aluno e que possa por ele ser aplicado em suas práticas e vivências sociais, divide-se o processo nesta proposta em três momentos pedagógicos, cada um com sua própria função didática e social: a contextualização, o desenvolvimento teórico e a aplicação.

O primeiro momento, a contextualização, é não somente onde o conteúdo será introduzido pelo professor, mas o momento em que os alunos desenvolverão seus conhecimentos prévios sobre o assunto, seus questionamentos e interesses. Portanto, esse será considerado um momento de troca de saberes onde, ao mesmo tempo que o professor introduzirá o tema com debates, divulgará o conteúdo, e mediará o processo, os alunos compartilharão com o professor e com os seus colegas os seus conhecimentos e práticas sociais ligados ao assunto e desenvolverão seus posicionamentos e conhecimentos quanto à radiação. O objetivo do professor neste momento é incitar os questionamentos dos alunos e interesse pelo conteúdo, gerando reflexões sobre divulgação científica, negacionismo, cientificismo e justiça social a partir dos exemplos compartilhados tanto pelo professor quanto pelos alunos.

O segundo momento é o desenvolvimento teórico onde, inspirados pela contextualização, os alunos aprimorarão seus conhecimentos quanto ao conteúdo de radiações a partir das explicações e discussões do professor. Este é o momento que mais se assemelha ao ensino tradicional, apesar de ainda existir nesse um fator social relacionado às práticas e convivências dos alunos. Possibilitando que a classe não somente entenda mas se identifique com o conteúdo ensinado, o que pode levar o aluno a desenvolver seus próprios questionamentos e posições quanto às questões sociais ligadas à radiação.

O terceiro momento é a aplicação, onde os alunos voltam a discutir as questões relacionadas a radiação tendo agora, no entanto, uma maior base conceitual do tema. Nesse espera-se que o professor intervenha de forma a somar nas discussões e levando o aluno a desenvolver sua própria produção intelectual.

Neste processo parte-se da ótica da alfabetização científica, onde ciência além de uma área do saber, é considerada uma perspectiva do mundo inspirada na análise, compreensão e aplicação dos fenômenos naturais. Logo, ao utilizarmos o termo ciência nesta proposta não estaremos nos referindo somente à compreensão dos fenômenos naturais, mas também à suas aplicações em nossa sociedade e a relação entre seus resultados e a cultura e sociedade em que está se insere.

Por conta deste aspecto crítico da ciência, é necessária a compreensão do contexto histórico e cultural das produções científicas e portanto se relaciona com a pedagogia histórico-crítica (Saviani, 1991), onde os conteúdos não somente são explicados pelo professor mas também analisados e debatidos a partir de seu contexto histórico.

A partir da definição de ciência como um fator social, possibilita-se nesta aula também a presença de discussões e desenvolvimentos críticos em relação a questões de justiça social.

O debate social interage também com o debate ambiental, principalmente partindo de uma visão de meio ambiente como não somente a natureza à nossa volta mas todo o meio que abrange o ser humano, incluindo portanto as cidades, a sociedade e os próprios indivíduos. Logo, o debate ambiental está presente já ao questionar-se as injustiças e desigualdades sociais, além de estar também presente nos debates sobre desastres e problemas naturais. Partindo da presença de ambas as discussões, fica claro que essa proposta também abrange a educação ambiental.

Pela natureza dessa proposta ser relacionada à presença de diversos debates, discussões e participações ativas dos alunos, não é possível utilizá-la como uma fórmula de aula que pode ser igualmente aplicada em qualquer colégio independente de seu contexto social. Por conta dessa dependência do contexto social dos alunos individualmente e da classe para as aulas, os exemplos e debates serão sempre que possível voltados para o cenário nacional. Facilitando a identificação do aluno com a discussão e maior percepção do tema em suas práticas.

A proposta apresentada neste trabalho tenta vir a ser o mais abrangente possível, podendo ser utilizada em qualquer contexto escolar. Não se limitando, portanto, ao uso de materiais didáticos que não se encontram em escolas públicas brasileiras e não limitando o número de aulas ou a série escolhida para a discussão, por ambos os fatores serem variados ao longo dos colégios e muitas vezes não dependerem do professor somente. Este trabalho almeja sugerir e debater distintas abordagens e exemplos que poderão ser utilizados e aplicados em aulas de radiação independente da carga horária e da série. De tal forma que sua aplicação pode variar de acordo com o cronograma curricular do colégio e não se limita a uma faixa etária restrita, podendo ser utilizada em qualquer dos três anos do ensino médio, ou mesmo nos últimos anos do ensino fundamental, quando em alguns colégios já se iniciam as discussões sobre a radiação.

Assim, desenvolve-se este estudo do processo de ensino-aprendizagem da radiação por uma proposta pedagógica de um ensino não tradicional, interativo, crítico e social da radiação, possibilitando uma transformação na visão do alunato a

respeito da radiação e da própria ciência. Destacando a importância e o valor de uma ciência nacional e democrática, e inspirada no grande educador e pensador Paulo Freire, essa proposta ressalta a importância de um ensino crítico, político, democrático e transformador brasileiro.

## 2. Referenciais teóricos

Analisaremos em seguida os referenciais teóricos escolhidos e a motivação para a escolha de cada um como base para este artigo. Sendo esses o enfoque CTSA (Vianna, 2013), a alfabetização científica (Sasseron, 2017), a pedagogia histórico-crítica (Saviani, 1991), a educação ambiental (Layarargues, 2014) e a justiça social (Gutstein, 2003).

Antes de mais nada vale ressaltar que apesar de serem ênfases distintas, todas são integradas e acabam se relacionando entre si de alguma forma. Não conseguiremos falar de CTSA sem uma boa base na alfabetização científica e ao mesmo tempo não temos como debater sobre e sobre justiça social em uma disciplina de ciência da natureza sem relacionarmos a sociedade e a ciência, ou seja sem utilizarmos mesmo que indiretamente o enfoque CTSA. Portanto, a divisão que faremos neste estudo em ênfases e referenciais teóricos é acima de tudo um facilitador teórico para auxiliar na melhor compreensão e aprofundamento destes conceitos pedagógicos, sendo que na prática, em sala de aula, tais referenciais serão muitas vezes indissociáveis e até mesmo em alguns casos indistinguíveis.

Somado a tal, evidencio que o objetivo deste estudo é em uma alternativa para o ensino de física (especialmente de radiação) que seja mais entusiasta e significativo para a vida do aluno. Sendo portanto uma estratégia para a crise educacional que vivenciamos e ao mesmo tempo uma oportunidade para repensarmos e revisarmos o que de fato ensinamos para os nossos alunos e o porquê deste ensino.

### 2.1 CTSA

O currículo tradicional tende a restringir o ensino de física de uma forma geral à memorização de fórmulas, equações e conceitos totalmente alheios a questões sociais e a vivência cotidiana dos alunos. Este distanciamento entre a escola e o resto da vida dos estudantes contribui para um desestímulo claro dos jovens em

relação ao aprendizado, à disciplina de física e à escola em si. Como consequência, em meio ao século passado começaram a surgir diversos movimentos e estudos pedagógicos que pensavam formas alternativas de se realizar o processo de ensino-aprendizagem para a melhor participação e consequentemente assimilação do aluno. Dentre estes estudos pedagógicos está o enfoque CTSA (Vianna, 2013).

O enfoque CTSA, como o nome já sugere, trabalha a ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, mas vai muito além de somente a explicação separada dos quatro, baseando-se na relação integrada entre eles e em como cada um afeta e interage com o outro. Ademais, de maneira igualmente importante, o enfoque CTSA leva ao centro da discussão o próprio aluno, sendo ele tanto um indivíduo impactado por estas relações como um ser social atuante capaz de realizar modificações nestas relações e consequentemente em nosso meio social.

Antes de começarmos nossos estudos da radiação por um enfoque CTSA, precisamos entender bem os conceitos de ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente à luz desse enfoque para então, tendo como base tais definições, melhor entendermos as relações que entrelaçam tais conceitos e como estas relações estão presentes na vida do alunato e na física das radiações.

## **2.1.1 Entendimento dos conceitos**

### **(A) Ciência**

O grande diferencial do estudo da ciência no enfoque CTSA é que a analisaremos por uma perspectiva crítica contrária ao positivismo e ao mito do cientificismo. O mito do cientificismo e da imparcialidade da ciência é algo muito comum no senso comum e presente até na própria academia, baseando-se na crença de que o desenvolvimento científico é único e apolítico, sendo indiferente quanto ao seu meio. Tal falácia apesar de muito disseminada tem grandes riscos por levar o indivíduo a acreditar que todo estudo científico é incriticável e elevar a

ciência a um patamar quase religioso de instituição sacra inatingível e inalcançável, afastando-a de sua real face como uma peça presente em nossa sociedade. Todo estudo científico é realizado por indivíduos ou grupos políticos, participantes e atuantes de uma sociedade e principalmente são motivados por indivíduos ou grupos políticos, participantes e atuantes em uma sociedade, somente nesta motivação e realização já percebemos uma presença clara de identidade e posicionamento no estudo, na descoberta e consequentemente na ciência.

Ao mesmo tempo, vale ressaltar que tal posicionamento não desvalida o cientista ou a ciência. A ciência de fato não é neutra, todavia, ela não perde sua legitimidade por seu posicionamento. Quebrar o mito do cientificismo é uma volta da ciência como uma parte importante integrante da sociedade e consequentemente uma aproximação entre ela e o aluno e a população de uma forma geral. Esta nova visão mais transparente torna possível que cada vez mais a população “possa, além de ter acesso às informações sobre o desenvolvimento científico-tecnológico, ter também condições de avaliar e participar das decisões que venham a atingir o meio onde vive” (Pinheiro, 2007, pg 72).

## **(B) Tecnologia**

Tecnologia pode ser bem definida como “o conhecimento que nos permite controlar e modificar o mundo.” (Santos e Mortimer, 2000, pg 117), ou seja, todo e qualquer conhecimento humano desenvolvido que possa ser aplicado. No entanto, o conceito mais usual e divulgado no senso comum de tecnologia é sempre relacionando a com avanços eletrônicos e novas descobertas, resumindo tecnologia a praticamente uma 'ciência aplicada'.

Ao desconstruirmos a visão mística de ciências precisamos agir também em cima deste conceito de tecnologia e a partir do CTSA estudarmos a tecnologia à luz de uma nova perspectiva mais analítica, crítica e construtiva. Estudando as diferentes formas de tecnologia em nossa sociedade, a relação delas com a vida de cada indivíduo e o porquê de cada tecnologia e cada avanço científico. É preciso

que o aluno entenda mais do que simplesmente como funciona fisicamente cada tecnologia, mas as motivações que levaram a ela e a interferência de cada nova tecnologia e cada avanço científico em suas vidas.

Vale aqui ressaltar que o CTSA não é simplesmente uma forma de contextualização mas uma nova possibilidade alternativa de ensino-aprendizagem que se baseia na aplicação e nas interferências da física, da própria ciência e de suas tecnologias na vida do aluno, na vida das pessoas em sua volta e em suas relações sociais. Com isso vamos ao próximo conceito deste grupo: A sociedade.

## **(C) Sociedade**

A sociedade tem um papel fundamental no enfoque CTSA por relacionar diretamente a ciência e a tecnologia às vivências e realizações pessoais do aluno. Ao analisarmos a sociedade no ensino de física pela perspectiva do CTSA iremos estudar junto aos alunos não somente como a ciência e a tecnologia alteram a nossa sociedade mas também como a própria sociedade e sua cultura alteram as evoluções científicas e tecnológicas. Consequentemente, como o aluno sendo parte integrante desta sociedade pode modificá-laativamente e consequentemente influenciar nestas relações.

Quando falamos da sociedade em uma aula de ciências o primeiro pensamento é relacionarmos os avanços científicos e tecnológicos com suas consequências na sociedade. Tal conexão pode ser extremamente útil e até mesmo uma chave para uma nova estrutura de aula. O ensino de máquinas térmicas, por exemplo, em associação com a revolução industrial tem um grande potencial de aplicação em uma estrutura de ensino alternativa interdisciplinar ou até mesmo transdisciplinar envolvendo tanto a física das máquinas térmicas quanto a história da primeira revolução industrial e até mesmo a sociologia com as implicações desta revolução em nossa sociedade até os dias atuais.

Apesar de imprescindível, esta não é a única forma de ligarmos ciências e sociedade em sala de aula, partindo da quebra do mito do cientificismo e da imparcialidade da ciências podemos afirmar que as opiniões e a cultura de um cientista impactam sim em seus investimentos científicos e por consequência em suas descobertas.

Com esta visão podemos analisar a ciência por uma perspectiva crítico social e assim entender porque algumas áreas e campos científicos se desenvolvem muito mais e de forma mais rápida e contínua que outros. Estudando o avanço científico e tecnológico tanto como causa de transformação de um meio social quanto como consequência dos investimentos, das ideologias e da cultura do mesmo.

O foco da sociedade em um enfoque CTSA não é somente nas motivações e nas aplicações sociais da ciência, mas no aluno e como ele poderá ser atuante e modificador neste meio. Ao estudarmos a sociedade em temas científicos englobamos os grupos e indivíduos de diversas lutas e mobilizações sociais e consequentemente as ações destes grupos e indivíduos, e enfatizando o poder transformador do aluno podemos levá-lo a se identificar com tais lutas e mobilizações sociais centralizando a ciência, a tecnologia e a sociedade na própria vivência individual e convivência coletiva do jovem. “Nas discussões desses temas, seria importante que fosse evidenciado o poder de influência que os alunos podem ter como cidadãos, bem como as questões éticas e os valores humanos relacionados à ciência e à tecnologia... Isso poderia ser feito, por exemplo, levando-se os alunos a perceberem o potencial de atuar em grupos sociais organizados, como centros comunitários, escolas, sindicatos, etc.” (Santos e Mortimer, 2000, pg 119)

## **(D) Ambiente**

Por fim, estudamos um dos pontos centrais de nossa sociedade que é o meio ambiente. Em um enfoque CTSA vemos meio ambiente não somente como a

natureza original, rios, florestas e mares mas como todo ambiente em volta do indivíduo, sua localização, sua geografia e toda forma de vida em seu meio.

Assim, a participação do meio ambiente no CTSA parte também de interferências das evoluções científicas e tecnológicas na natureza mas não se mantém somente nisso, sendo importante também a discussão de como o meio e uma região interferem nos nas descobertas lá realizadas e nas tecnologias lá utilizadas.

O ensino de ciências utilizando a natureza como contextualização é uma prática que muito tem se popularizado. Todavia, como antes foi dito, o objetivo de um enfoque CTSA não é somente em uma contextualização para a aula mas em toda uma transformação no formato, nas metodologias e nas próprias motivações para a aula.

## **2.1.2 CTSA e a escola**

Como analisamos acima, o CTSA não é simplesmente um estudo separado de ciências, tecnologia, sociedade e ambiente, mas depende da interação constante destes quatro e da globalização do ensino, sempre tendo como foco o próprio aluno. Ao aplicarmos tal perspectiva em sala precisamos partir da prerrogativa de um ensino crítico de ciências, isto é, um ensino que vá além de um simples amontoado de matérias, fórmulas e conceitos não relacionados entre si tal como no ensino tradicional. Além disso, precisamos partir da prerrogativa de que o ensino de física deve ser voltado para que o aluno independente de sua profissão no futuro possa utilizar-se da ciência a seu favor em suas escolhas e ações sociais. "Além de ter acesso aos conhecimentos relacionados à ciência e à tecnologia, o educando precisará entender como esses processos se formaram, em que eles implicam, quais suas consequências e que tipo de atitudes o cidadão deverá ter diante dos problemas. É necessário que ele possa efetivar sua participação enquanto ente de uma comunidade, buscando informações, aquelas diretamente vinculadas aos problemas sociais que afetam o cidadão e seu meio, exigindo um posicionamento quanto ao encaminhamento de soluções." (Pinheiro, Silveira e Bazzo, 2007, pg 79)

Um currículo com um enfoque CTSA requer uma reforma do ensino tradicional, não somente em suas aplicações e conceitos, mas na própria concepção escolar da educação em ciências. A ciência deixa de ser intacta e imutável e passa a ser um elemento atuante, mutável e ainda assim imprescindível de nossa sociedade que é construída ao longo do tempo por cidadãos pertencentes a esta sociedade tal como os alunos. E a escola deixa de ser um local de devoção ilógica a esta ciência e um instrumento de dominação dos alunos para um local de desenvolvimento desta ciência e do próprio aluno como indivíduo e ser social, como muito bem explica Pinheiro:

Com o enfoque CTS, o trabalho em sala de aula passa a ter outra conotação. A pedagogia não é mais um instrumento de controle do professor sobre o aluno. Professores e alunos passam a descobrir, a pesquisar juntos, a construir e/ou produzir o conhecimento científico, que deixa de ser considerado algo sagrado e inviolável. Ao contrário, está sujeito a críticas e a reformulações, como mostra a própria história de sua produção. Dessa forma, aluno e professor reconstróem a estrutura do conhecimento. (Pinheiro, 2007, pg 77)

Outro importante caráter do CTSA que vale ser ressaltado é seu caráter interdisciplinar. Considerando que mesmo ainda em uma escola com estrutura curricular dividida em disciplinas, o enfoque CTSA acaba levando obrigatoriamente a interdisciplinaridade por debater assuntos complexos e globalizados como as relações entre ciência, ambiente, tecnologia e sociedade que precisam necessariamente de uma integração entre diversas áreas do conhecimento para serem bem compreendidos.

Por fim, fica claro o potencial da aplicação de um enfoque CTSA tanto para o maior interesse do aluno no ambiente escolar (e neste caso especialmente no ensino de física) quanto para o próprio aproveitamento das aulas na vida futura do aluno após a escola. Se o objetivo da escola é transformar os alunos e a sociedade então precisamos partir de um ensino que de fato seja libertador ao aluno e de um

conteúdo que vá para além de simplesmente fórmulas e equações, que realmente lhe ensine a desenvolver um posicionamento crítico, levando em conta toda a sua vivência e suas experiências passadas. “A formação oferecida pela escola média nas áreas de ciências pode contribuir para empoderar o cidadão para esse posicionamento crítico, não apenas com conhecimentos técnicos específicos, mas principalmente com uma visão de ciência como atividade humana.” (Rodrigues, 2014, pg 20)

## 2.1.2 CTSA e o ensino de radiação

Quando analisamos o ensino da radiação ao longo do ensino tradicional vemos um conteúdo avulso as vivências sociais do aluno e alheio aos seus conhecimentos de mundo, levando a um falso aprendizado voltado para a memorização de definições e fórmulas.

Por consequência deste afastamento, o indivíduo com um diploma médio não tem conhecimento básico da realidade da radiação, de seus benefícios e malefícios e de suas aplicabilidades na sociedade moderna. Tal desconhecimento leva a um receio de grande parte da população com debates, aplicações e descobertas científicas relacionadas a emissão de radiação, receio este puramente baseado em medos e preconceitos.

O enfoque CTSA, portanto, tem uma boa área de atuação física no estudo de radiações, possibilitando que como professores ensinamos as emissões radioativas pelo o que elas realmente são e por seu real papel social, suas tecnologias e suas consequências ambientais. Assim, o aluno poderá construir uma percepção e entendimento de radiação de forma ativa, como uma parte integrante de seu meio e de suas vivências que a todo momento está interagindo com ele, como explicam Vitor Sales e Deise Vianna: O enfoque C-T-S é uma das linhas de pesquisa em ensino de Ciências que busca conduzir o aluno a uma postura mais ativa no processo de evolução científica, isto é, que busca entender os avanços e discuti-los com seus pares, em vez de aceitá-los passivamente. (Sales e Vianna, 2012, pg 2)

Destaca-se também que este estudo não objetiva a idealização destas tecnologias e aplicações e tão pouco sua demonização, mas a normalização de um debate sincero sobre sua realidade e suas interações com a sociedade e o meio ambiente, tanto as positivas quanto as negativas. Para que tais debates e suas pluralidades de fato existam dentro da sala de aula é importante que os alunos não somente compreendam a ciência como fator social e percebam as interações desta ciência com o meio mas também que saibam a partir de seus conhecimentos adquiridos tecer estudos e argumentos e consequentemente se posicionar nestes debates e em suas vidas de forma ativa. Para isso, além do enfoque CTSA é importante que a escola também se volte para o letramento e a alfabetização científica do corpo discente

## 2.2 Alfabetização científica

A ideia de alfabetização científica parte da definição intitulada por Paulo Freire para alfabetização, sendo esta o domínio psicológico, consciente e mecânico das técnicas de escrever e ler, implicando em uma possível autoformação posterior do indivíduo como ser atuante em sua sociedade (Sasseron, 2017). Ou seja, a alfabetização é não só a obtenção da habilidade de ler e escrever mas a utilização consciente desta habilidade como modificador social para o indivíduo. Portanto, a alfabetização científica seguindo esta lógica será o aprendizado do conteúdo científico de forma que o educando não somente decore o conteúdo mas identifique-o em seu meio social e saiba bem aplicá-lo em suas escolhas e situações sociais. Ou seja, um aprendizado que permita ao aluno reconhecer, entender, escrever e aplicar os conhecimentos científicos por ele adquiridos em suas convivências sociais.

Ao analisarmos o ensino da ciência por uma perspectiva da alfabetização científica precisamos, tal como no enfoque CTSA, desmistificar o cientificismo. Para o aluno conseguir um letramento e uma alfabetização científica é preciso que o professor redefine a própria ciência como uma parte integrante da sociedade, como uma perspectiva e não mais como uma semi divindade intangível e imutável. Para

Sasseron, a ciência deve ser redefinida como uma visão de um mundo em constante mutação, uma visão baseada em fenômenos naturais aplicados em processos socioculturais que não se aplica somente em grandes laboratórios e em centros de pesquisa mas a todo momento no dia a dia. Ademais, Sasseron não fala somente sobre a aplicação da ciência ser um processo social mas também sobre sua construção, sendo esta formada por indivíduos dentro de uma sociedade com anseios e posicionamentos.

Em linhas gerais, podemos dizer que a ciência é um modo de ver e compreender os fenômenos naturais; que a lógica e a objetividade costumam ser as bases que fundamentam sua construção; e que as propostas científicas, bem como os processos para chegar a elas, estão embrenhados de características sócio-históricas e culturais. Essas ideias evidenciam que, como qualquer outra forma de buscar dar sentido ao mundo, a Ciência é construída por pessoas, ao longo dos tempos. Entretanto, tem uma forma própria de estruturar os conhecimentos que postula sobre o mundo e é composta de características que a tornam uma maneira particular de compreender os fenômenos naturais.

(Sasseron, 2017, pg 10)

Como tanto ciência quanto alfabetização foram redefinidos a luz desta alfabetização científica, é importante repensarmos também o currículo científico, as metodologias educacionais e os objetivos da aulas de ciências, ou seja, porque ensinamos ciências, como estamos ensinando ciências e que ciências ensinamos aos alunos de forma que se adeque a tal pensamento de alfabetização e letramento científico.

Os objetivos do ensino de física (e das ciências em geral) por esta perspectiva são em muitos pontos distintos dos objetivos tradicionais do ensino. Enquanto no ensino tradicional o aprendizado é voltado para avaliações, provas e pelo nivelamento dos alunos de acordo com sua facilidade e seu esforço, ao darmos

preferência a uma alfabetização científica estaremos necessariamente mudando nosso foco para um processo de ensino-aprendizagem que seja utilitário para o aluno como indivíduo social. Se nesta perspectiva a ciência é uma visão de mundo, então os conteúdos precisam estar interligados com o mundo do aluno, e o foco do professor acabará consequentemente se tornando no aprendizado, reconhecimento e aplicações dos conteúdos socialmente. O aluno deve ser orientado para conseguir resolver situações problemas utilizando a ciência, de preferência situações essas que se assemelham a eventos o aluno presenciara em sua vida adulta ou que já tenha presenciado em suas vivências anteriores.

O objetivo do professor deve ser que o aluno entenda, reconheça e aplique a ciência em suas convivências sociais de forma a favorecê-lo e auxiliá-lo na resolução de problemas. Para tal, é necessária a clareza na diferenciação entre problemas e exercícios, baseando-se nas definições de Sassenon:

Um exercício é uma situação em que se necessita chegar a um resultado utilizando métodos preestabelecidos, de forma a aplicar um método de resolução. Exercício é o ato de exercitar, de treinar. (...) Resolver um problema consiste em encontrar um caminho não conhecido antes, encontrar uma saída para uma situação difícil, alcançar um objetivo sem conhecimentos preexistentes

(Sassenon, 2017, pg 25)

O aluno deve ser preparado para compreender além dos conteúdos programáticos da física os fatores éticos políticos e sociais dos mesmos e as relações CTSA destes conteúdos, a alfabetização científica pede portanto não somente uma reforma nos objetivos do currículo mas uma reformulação do próprio currículo. É necessário que repensem o que será ensinado à luz de uma alfabetização científica levando em consideração que conteúdos serão importantes para aprimorar a visão de mundo do aluno e para auxiliá-lo em suas resoluções diárias de problemas.

Para bem realizarmos tal reforma curricular é importante ressaltar a diversidade e a individualidade de cada aluno. Em uma turma média teremos diversos alunos de diferentes realidades sócio-culturais com diferentes visões de mundo, distintos objetivos de vidas e diversas áreas profissionais. O ensino de física, portanto, tem de ser um ensino que seja útil e enriquecedor para todos, consequentemente, o currículo não deverá ter conteúdos extremamente avançados e complexos, mas conteúdos que são presentes nas convivências sociais dos alunos e interagem com as vivências dos mesmo. Procura-se um processo de ensino-aprendizagem que não seja mecânico, mas significativo ao aluno, como na teoria de David Ausubel (Ausabel, 1980) explicada por Romero Tavares:

As pessoas constroem os seus conhecimentos, a partir de uma intenção deliberada de fazer articulações entre o que conhece e a nova informação que pretende absorver (...) A aprendizagem significativa requer um esforço do aprendente em conectar de maneira não arbitrária e não literal o novo conhecimento com a estrutura cognitiva existente. (...) Na interação entre o conhecimento novo e o antigo, ambos serão modificados de uma maneira específica por cada aprendente, como consequência de uma estrutura cognitiva peculiar a cada pessoa" (Tavares, 2004, pg 2)

Por cada colégio, cada turma e cada aluno ter a própria vivência, os próprios problemas e a própria visão de mundo se faz necessária a realização de um currículo ímpar para cada indivíduo. o currículo não é uma receita de bolo que irá funcionar efetivamente com todos os alunos de todas as realidades, mas precisa ser pensado para cada realidade de cada aluno individualmente que trabalhe sempre um paralelo entre o social e o individual.

Em sala de aula, temos contato com alunos de diversas origens e com diferentes perspectivas para o futuro. Pensando nessa diversidade, apoiamos a necessidade de um currículo de Ciências voltado para a vida de todos os alunos, e não apenas para aqueles que já manifestam alguma aptidão ou interesse

pela carreira científica. Desse ponto de vista, emerge a premissa assumida por estudiosos que pensam a Alfabetização Científica: o alfabetizado cientificamente não precisa saber tudo sobre as Ciências, mas deve ter conhecimento suficiente de vários campos das Ciências e saber sobre como esses estudos se transformam em adventos para a sociedade.

(Sasseron, 2017, pg 15)

Se faz necessária a presença de uma reformulação também na estrutura da aula, nas práticas e metodologias em sala. O ensino por uma perspectiva da alfabetização científica não pode ocorrer pelas mesmas práticas e métodos que o ensino tradicional e para tal é necessária a implementação da problematização e da argumentação em sala.

O ensino tradicionalmente é realizado por aulas expositivas sendo basicamente transmissão de conhecimentos do professor para o alunato, no entanto, quando partimos para uma concepção que entende ciência como uma visão de mundo e o papel do professor e da aula de ciências como auxiliadores para a resolução dos problemas sociais que serão enfrentados pelo aluno o ensino não pode mais ser voltado para o professor e a sua transmissão de conhecimento mas para o aluno, seus problemas e seu desenvolvimento de soluções. O ensino precisa ser problematizador e argumentativo, isto é, o professor deve gerar questões problemas que serão argumentadas e desenvolvidas pelo aluno a partir dos conhecimentos científicos, seus fatores sociais e suas relações com a tecnologia e a sociedade. Nesta compreensão o professor é coadjuvante do ensino, dando o lugar central para o próprio aluno. Apesar dessa mudança de foco, vale ressaltar que o trabalho do professor não diminui, muito pelo contrário, a tarefa de colocar todo aluno como centro em uma classe diversa e múltipla e de ser um orientador destes estudantes em seus desenvolvimentos sem simplesmente solucionar tais problemas para eles é complexa e requer muito preparo e estudo. Até mesmo o simples preparo de situações problemas já começa a se complicar por tais situações necessitarem de individualidade em relação às convivências sociais do aluno.

Por fim, vale ressaltar a importância da interdisciplinaridade em meio também à alfabetização científica. A divisão dos conhecimentos em disciplinas é um facilitador para melhor compreensão dos alunos e especialização dos professores, e consequentemente que toda disciplina tem limitações e imperfeições. Tanto os problemas que serão vivenciados pelos alunos quanto às relações sociais dos conteúdos científicos e seus fatores histórico-sociais são por natureza interdisciplinares. Logo, como a alfabetização científica trabalha situações reais e adaptações reduzidas destas situações reais que por terem diversos personagens e elementos não podem ser bem definidas, desenvolvidas e explicadas por simplesmente uma divisão do conhecimento, esta necessita de um ensino múltiplo, plural e interdisciplinar.

## 2.3 Educação Ambiental

Em 1945, em meio a segunda guerra mundial, a humanidade passa por um dos capítulos mais trágicos de sua história: o ataque nuclear das duas bombas atômicas. Tal ataque chocou todo o globo e modificou a perspectiva da população global em diversas áreas da sociedade, entre essas a visão humana sobre a radioatividade e sobre o meio ambiente. Neste primeiro momento analisaremos em foco a segunda mudança, em meio a tal acontecimento de tanto medo e terror o ser humano percebeu sua potência destrutiva e começou a perceber o estrago irreparável que a raça humana estava causando no ambiente em sua volta. Com isso, se potencializou exponencialmente um debate muito pouco comentado até então sobre ambientalismo, sustentabilidade e sobre educação ambiental.

A educação ambiental é definida na constituição nacional como "Os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadias qualidades de vida e sua sustentabilidade." (Lei nº 9795/1999, Art 1º.). No entanto, existem diversas perspectivas e diretrizes distintas da educação ambiental que compreendem de forma distinta que valores sociais, conhecimentos, habilidades e atitudes são citados

acima. Dentro do universo destas diversas tendências podemos bem separá-las em três grupos de macrotendências político-pedagógicas, sendo essas a conservacionista, a pragmática e a crítica. Nesta análise estudaremos a educação ambiental à luz da macrotendência crítica que foi muito bem definida por Philippe Pomier Layrargues como o conjunto das tendências e correntes da educação ambiental que buscam a contextualização e politização do debate ambiental apoiando-se no enfrentamento político das desigualdades e da injustiça socioambiental:

A macrotendência crítica, por sua vez, aglutina as correntes da Educação Ambiental Popular, Emancipatória, Transformadora e no Processo de Gestão Ambiental III. Apoia-se com ênfase na revisão crítica dos fundamentos que proporcionam a dominação do ser humano e dos mecanismos de acumulação do Capital, buscando o enfrentamento político das desigualdades e da injustiça socioambiental. Todas essas correntes, com algumas variações, se constroem em oposição às tendências conservadoras, procurando contextualizar e politizar o debate ambiental, problematizar as contradições dos modelos de desenvolvimento e de sociedade.

(Layarargues, 2014, pg 31)

A educação ambiental crítica, não está vinculada somente com a ideia de preservação da natureza e de espaços naturais como rios, florestas e mares. Mas com a manutenção da própria vida humana, se preocupando assim com as injustiças e mazelas sociais que impedem cada indivíduo de ter uma vida digna e justa com acesso aos recursos básicos como a água, alimentação, moradia, saúde, educação e lazer. A vertente crítica da educação ambiental preocupa-se com todo o universo de personagens que estão em volta do ambiente humano, ou seja, a relação do homem com tudo aquilo que o envolve, com o seu meio. Portanto, nesta abrangência está incluída a convivência social do homem, sua relação com a natureza e os outros animais e plantas e até mesmo seus próprios direitos e deveres.

Por conta dessa maior abrangência da educação ambiental crítica a mesma acaba atuando em mais áreas e tendo um viés não somente geográfico e ambiental mas político. A educação ambiental crítica atua sim em defesa da natureza, mas vai para além, estudando também o ser humano, seus direitos básicos, suas interferências e suas relações sociais. “Não bastava lutar por outra cultura na relação entre humano e natureza, sem também lutar por uma nova sociedade. Não se tratava apenas de promover reformas setoriais, mas de uma renovação multidimensional capaz de mudar o conhecimento, os valores culturais e éticos, as instituições, as relações sociais e políticas.” (Layarargues, 2014, pg 29)

Portanto, buscaremos sempre uma visão holística, levando o aluno a analisar de acordo com sua perspectiva e seus valores o ambiente a sua volta e a sua própria inserção nesse ambiente como indivíduo e ser social atuante. No caso deste estudo em especial, tais ações humanas e relações interpessoais a serem estudadas são aquelas que relacionam-se com a emissão de radiações. Ao falarmos sobre o meio ambiente do aluno podemos falar das emissões naturais de radiação que ocorrem diariamente por elementos naturais e artificiais que rodeiam o aluno e formam tal meio ambiente.

Retornando aos trágicos ataques nucleares mencionados acima, por exemplo, à luz da educação ambiental podemos analisar suas histórias estudando sua relação com o meio ambiente, com as sociedades daquele momento e até mesmo como tal momento significou para as relações sociais atuais. Com isso podemos justificar o porquê do medo e receio comum da sociedade na utilização e até mesmo do próprio debate sobre radiação. A partir de um estudo científico e ambiental das radiações historicamente podemos fazer com que nossos alunos melhor compreendam nossa sociedade atual de forma crítica e globalizada. Possibilitando-os que se identifiquem como elementos ativos e modificadores desta sociedade e deste meio ambiente. Com isso partimos para um quarto referencial utilizado neste estudo que é a pedagogia por uma perspectiva histórico-crítica.

## 2.4 Pedagogia histórico - crítica

A pedagogia histórico-crítica é uma alternativa pedagógica criada pelo filósofo brasileiro Demeval Saviani (Saviani, 1991), se opondo ao processo de ensino tradicional e ao processo do ensino novo. Sua oposição é dada por duras críticas a ambos por perpetuarem as desigualdades e injustiças sofridas em nossa sociedade. O ensino tradicional totalmente voltado para o conteúdo programático sem desenvolvimento social algum é um potenciador das desigualdades sociais e um desestimulador da relação do aluno com a escola e o conhecimento, por não demonstrar onde e como este conhecimento é importante para o aluno e lhe pode ser útil. O ensino novo, por outro lado, baseia-se em uma pedagogia não conteudista em que os alunos escolhem o tema e guiam a aula, levando a uma não interferência do professor no processo de aprendizagem e consequentemente a impossibilidade da ação transformadora. A pedagogia histórico-crítica vem se opor a ambos possibilitando uma sala de aula com conteúdos pré programados mas adaptados ao aluno e à classe, sendo uma via em que o professor auxiliará a conduzir a aula podendo levar a um resultado transformador e libertador mas que os alunos terão sua parcela de liberdade e atuação em sala. O processo de ensino-aprendizagem nesse caso não parte nem somente do professor e nem somente do aluno mas da interação entre os dois e seus conhecimentos e vivências.

Sua definição é crítica pois analisa o ensino e a escola como influentes e potenciais transformadores da sociedade mas também como consequência social do meio que está localizado. Logo, a escola é tanto causa como consequência de seu meio social, o que ensinamos nela e como ensinamos é consequência de nossas práticas sociais e este processo de ensino-aprendizagem é um transformador e um dos causais para a sociedade da forma que é. Além disso, sua definição é histórica pois Saviani reconhece o ensino como dependente da sociedade e de seus diversos fatores, no entanto, dá ênfase ao fator histórico pela capacidade dos antecedentes históricos de uma sociedade de explicar o porquê de seus elementos e suas relações atuais (Saviani, 2011). Partindo da história podemos entender como funciona nossa sociedade, de onde ela surgiu, melhor compreendermos suas relações e consequentemente formas de alterá-las. A parcela histórica desta teoria é

muito importante para diferenciá-la da escola nova, que analisava o aluno por suas práticas atuais e seu meio atual sem levar em consideração tanto os acontecimentos que levaram tanto o aluno a ser quem ele quanto os acontecimentos que levaram o meio social do indivíduo a se formar para ser da forma que hoje ele é conhecido.

A História seria exatamente essa matéria que ocuparia o lugar central no novo princípio educativo da escola do nosso tempo: uma escola unitária porque guiada pelo mesmo princípio, o da radical historicidade do homem e organizada em torno do mesmo conteúdo, a própria história dos homens, identificado como o caminho comum para formar indivíduos plenamente desenvolvidos. Com efeito, que outra forma poderíamos encontrar de produzir, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens

(Saviani, 2011, pg 13)

Tal perspectiva pedagógica é dita como concreta pois além de se utilizar do materialismo dialético de Marx (Lenin, 1979) vê o aluno como um ser concreto, não como um ser abstrato ou um ser empírico como respectivamente o ensino tradicional e o novo. O aluno nesta perspectiva é visto como um indivíduo concreto com convivências sociais, experiências passadas e antecedentes históricos, inserido necessariamente em uma sociedade que com ele se relaciona. Essa última também com antecedentes históricos que a formam e consequentemente se relacionam com o aluno. Portanto o estudante nesta visão pedagógica é tanto um ser individual com desejos, anseios e posicionamentos próprios quanto um ser social que é influenciado por seu meio e suas vivências.

A pedagogia histórico-crítica divide o processo de ensino em cinco etapas ou cinco momentos, sendo eles a prática social inicial, a problematização, a instrumentalização, a catarse e a prática social final. A prática social inicial está ligada com a contextualização, a partir das práticas sociais já vividas pelo aluno o professor irá introduzir o conteúdo e desenvolvê-lo de forma a ligar-se com tais

práticas. É o momento em que o professor e o aluno trocam saberes, o professor com o seu saber acadêmico e científico e o aluno com suas convivências e situações vividas. Depois vem a problematização onde, diante desta troca inicial, o professor desenvolve problemas que se relacionem com as experiências vivenciadas pelo alunato e com os fatores sociais que os cercam. Neste momento de problematização ocorre a discussão do professor com os alunos sobre as situações encontradas nas práticas sociais, sobre possibilidades e alternativas para sua resolução e sua relação com o tema, desenvolvendo assim a curiosidade, o raciocínio e as hipóteses do aluno sobre o conteúdo.

Após a problematização ocorre a instrumentalização onde o professor desenvolve em si os conteúdos mostrando-os como instrumentos teóricos e práticos que poderão ser utilizados para resolução dos problemas da etapa anterior. Neste processo histórico-crítico o desenvolvimento dos instrumentos é importantíssimo por ser o momento que o professor irá equacionar os problemas encontrados na prática social e discutidos na problematização, além de relacioná-los com o conteúdo desenvolvendo a ciência em si, seus conceitos, fenômenos e suas fórmulas.

Após este desenvolvimento instrumental vem a catarse. Momento inspirado por Gramsci (Gramsci, 1999) onde o professor abrange sobre os resultados obtidos na instrumentação e não só os generaliza mas leva a incorporação deste resultados, dos fenômenos, dos conceitos científicos e das equações para a vida do alunato. Neste momento estes instrumentos educacionais e científicos partem de um potencial transformador para de fato elementos ativos transformadores das convivências do aluno. As descobertas também são desenvolvidas para além das situações problematizadas, incorporando o universo do aluno em todos os âmbitos e principalmente interagindo com outros elementos e fatores já presentes neste universo.

Por fim, voltamos à prática social, no entanto, agora o aluno não somente com o conhecimento de suas vivências mas com também o conhecimento científico do conteúdo. A partir deste diálogo final o aluno poderá acrescentar ao debate e a discussão agora com seus conhecimentos e repensar suas práticas e sua situação

social agora à luz deste novo conhecimento que lhe foi adquirido. Pensando este processo para o ensino de física e de radiação de uma forma geral podemos exemplificar com a utilização de energia nuclear. Tema este que é super importante social e historicamente e de onde conseguimos puxar diálogos para melhor conhecer e aprender sobre as práticas sociais dos alunos relacionadas a tal e destes diálogos partir para problematizações e instrumentalizações que levaram a catarse do aluno e a volta a suas práticas sociais agora porém com o diferencial de um conhecimento e um letramento científico mais avançados quanto ao conteúdo.

Tal processo e a perspectiva histórico-crítica de uma forma geral interagem muito com os outros estudos pedagógicos antes discutidos, consequentemente possibilitando também de forma evidente uma aplicação no estudo científico da radioatividade. Tal pedagogia, tal como o CTSA, a educação ambiental e a alfabetização científica partem todos do princípio que o papel escolar é de autoconhecimento e desenvolvimento do aluno como atuante em seu meio e de transformador social sendo um decisivo elemento na evolução contra as mazelas sociais e contra a injustiça social. Portanto, o último referencial teórico deste estudo é a própria justiça social.

## 2.5 Justiça social

A justiça social no ensino de ciências não é uma prática muito comum, ainda muito recente e com poucos estudos conclusivos sobre. Mas potencialmente tal ênfase pode transformar por completo a atuação desta área do conhecimento na vida dos alunos, a relação do aluno com ela e consequentemente com o próprio mundo em sua volta. Acatamos anteriormente o conceito de ciência da Lúcia Helena Sasseron (Sasseron, 2017) como uma visão de mundo baseada em fenômenos naturais e interpretada por indivíduos sociais, nesta visão podemos afirmar que a ciência é parte integrante da sociedade e portanto uma das formas de se explicar, entender e transformar esta sociedade. Ao colocar em questão a justiça social no ensino de ciências, imersos nesta definição de ciência como fator social, estamos procurando utilizar da ciência para explicar o meio social de nossos alunos, as

injustiças sociais que lhes cercam e principalmente os possibilitando a utilizarem-na como reforma deste meio social.

O objetivo é que o professor não somente desenvolva os conhecimentos físicos mas saiba relacioná-los com as injustiças sociais que cercam os alunos, e para isso, é de suma importância que os alunos não somente vejam mas de fato participem da aula agregando com suas experiências e vivências sociais. Tal como é conceituado no primeiro momento da pedagogia histórico-crítica, para o ensino ser de fato libertador é necessária a troca de sabedorias entre o professor e os alunos, o professor com seu conhecimento teórico e acadêmico e os alunos com as experiências por eles vivenciadas.

Com esta troca entre professor e aluno, o ensino é desenvolvido para que os alunos consigam reconhecer e aplicar a física em suas vivências como elemento modificador do meio social, voltando sempre para as injustiças sociais sofridas e vivenciadas pelos próprios alunos e por pessoas à sua volta. A pedagogia da justiça social tem como objetivos ajudar o aluno a desenvolver uma consciência sociopolítica, desenvolver uma auto identidade como agente atuante e modificador e uma identidade positiva cultural e social. O conhecimento de física e a escola de podem ser importantes não somente para abrir os olhos dos alunos quanto às opressões e injustiças por eles vividas, mas para apoiá-los na luta contra as mesmas.

Em relação à radiação, em especial, podem ser analisadas injustiças historicamente relacionadas às populações de baixa renda expostas a elevados graus de emissão sem o devido equipamento e orientações adequadas por falta de instrução, estudo ou propriamente do material necessário. Ou também injustiças raciais ou de gênero relacionadas a diferenciação de homens e mulheres ou brancos e pretos em relação ao acesso ao conhecimento, instruções e material de proteção a emissões radioativas de alto nível energético. E até mesmo podem ser analisadas injustiças que a princípio não se relacionam com a radioatividade mas que a partir de tal estudo existam fatores e estratégias decisivos em uma luta contra tais, como a

fome por exemplo e a má distribuição de alimentos que pode ter na irradiação de alimentos um potencialmente aliado de suma importância.

Esta educação voltada para a justiça social não é uma tarefa fácil de se concretizar, ainda mais em ciências da natureza tais como a física. Esta dificuldade parte em muito do embrarreiramento e do preconceito de pais, alunos e até mesmo educadores com tal pedagogia, não crendo em seu potencial de aprendizado do conteúdo tal como o do ensino tradicional. No entanto, tal premissa é sofista pois o ensino emancipador não negligencia de forma alguma o conhecimento e o conteúdo em si, muito pelo contrário, sendo o próprio conteúdo a base da formação do alunato no ensino emancipador e na pedagogia da justiça social. Um ensino voltado para o meio social do aluno pode ser um importante impulsionador para um melhor processo de assimilação do conteúdo e valorização do aprendizado e da disciplina em si, possibilitando não somente uma transformação nas vivências do aluno mas também uma estratégia contra a desvalorização da física e da escola em si por parte do alunato.

### 3. Contextualização

Dividiremos nosso estudo em três momentos pedagógicos baseados na interpretação da metodologia de Paulo Freire feita por Delizoicov (Delizoicov, 1983). Sendo estes a Contextualização, o desenvolvimento teórico e a aplicação dos conhecimentos. Tal divisão assemelha-se a pedagogia histórico-crítica sendo este primeiro momento de contextualização análogo à prática social inicial e a problematização, o desenvolvimento teórico análogo a instrumentalização e a aplicação dos conhecimentos sendo análoga a catarse e a prática social final. Também podemos comparar tal estrutura com a alfabetização científica, sendo este primeiro momento semelhante à problematização e o último semelhante à argumentação da estrutura definida pela Sasseron para a alfabetização científica.

Este primeiro momento de contextualização será de apresentação temática aos alunos e principalmente de introdução do professor aos conhecimentos prévios de sua classe. Neste, o professor partirá de sua postura de ator principal na sala para um papel de coadjuvante levando os alunos ao centro do processo de ensino e a partir de questionamentos, diálogos, textos, vídeos, experimentos e debates buscará que os alunos desenvolvam relações entre suas práticas sociais e a radiação e questionem seus conhecimentos prévios sobre tal tema. A partir de tal interação entre os alunos e a disciplina se desenvolverá o conteúdo e já começaram a ser definidas direta ou indiretamente a radiação e a própria ciência como fatores sociais, a luz do enfoque CTSA.

Como o processo de ensino-aprendizagem deve ser orientado pelas convivências sociais do alunato, não podemos nos utilizar da mesma metodologia e das mesmas práticas para todas as turmas de diferentes anos, locais e realidades. Portanto, desenvolve-se tal estudo de forma que cada professor tenha a liberdade de se utilizar dele em seu processo de preparação de aula e nas práticas em sala da melhor forma possível de acordo com sua própria realidade e sua livre interpretação. De toda forma, iremos nos utilizar sempre que possível de exemplos históricos brasileiros e problematizações pertinentes em território nacional de tal sorte que

consigamos relacionar ao máximo as discussões científicas com as situações históricas e sociais bem conhecidas ou até vivenciadas pelos alunos.

### **3.1 Debate introdutório: A radiação faz bem ou mal para a saúde?**

Esta proposta de prática pedagógica inicia-se, como já anteriormente mencionado, por uma contextualização e apresentação formal e escolar dos alunos ao tema. Tal apresentação é dita como formal e escolar pois os alunos já têm experiências, posicionamentos e vivências relacionadas à radiação anteriores ao seu estudo sobre o tema em sala de aula, mesmo que muitas vezes estes não sejam claros para o próprio estudante.

A contextualização será iniciada com um debate entre os alunos a partir de um questionamento promovido pelo professor: *A radiação faz bem ou mal para a saúde? E por quê?* Partindo desta pergunta decorrerá uma discussão entre alunos sobre o assunto sendo o professor, neste momento inicial, um observador e mediador. É de suma importância que a discussão se mantenha entre os alunos e que estes dissertem ao máximo pois este é o momento pedagógico de aprendizado do professor, momento este em que ele observa e aprende sobre os conhecimentos, posicionamentos, as vivências e realidades dos alunos. Tal momento é denominado por Dermeval Saviani em sua pedagogia histórica - crítica como a prática social inicial (Saviani, 2012, pg 9)

Neste debate inicial o professor irá compreender e conhecer melhor sobre seus alunos e sua turma, podendo até mesmo modificar suas estratégias de ensino de acordo com falas e questionamentos pertinentes dirigidos pelos alunos. Como foi acima comentado, a ciência por uma perspectiva do CTSA deve sempre ser relacionada com a sociedade a qual estão inseridos os alunos, portanto, o planejamento da aula pode e deve sofrer alterações dependendo da discussão propiciada pelos alunos sobre seus conhecimentos e vivências sociais. No entanto,

vale ressaltar que mesmo alterando os métodos, exemplos e até práticas realizadas em aula, esta deve se desenvolver irrestritamente ao conteúdo planejado e parte do professor a maestria para bem guiar a aula de forma coerente partindo de diferentes realidades e chegando ao mesmo conteúdo.

Saviani diferencia o trabalho do educador em duas dimensões práticas, a técnica e a artística (Saviani, 2012, pg 3). A técnica é definida como a correta forma de se realizar uma tarefa com regras e formatos explícitos e exteriores, já a arte, apesar de ser uma realização também prática, se diferencia pela originalidade. Nesta segunda as regras e formatos existem são implícitos e dependem da própria arte. No meio educacional a dimensão técnica se encontra na elaboração de conteúdos, currículos, métodos e programas disciplinares, ou seja, na concepção e estruturação do que será ensinado, quando será ensinado e como será ensinado. Partindo para a dimensão artística, esta se encontra na originalidade do professor para atuação em cada classe a partir de suas distinções e especificidades. O conteúdo é técnico mas para Saviani, a forma que o professor irá relacionar o conteúdo com a realidade de cada turma e de cada aluno de forma individual e específica é arte.

Ora, no campo da educação nós encontramos ambas as dimensões. Pela dimensão técnica, é possível extrair dos enunciados e princípios da teoria da educação determinadas regras que devem ser seguidas na realização do ato educativo. Essa é a forma que se manifesta na composição dos programas escolares das diversas disciplinas nos quais se definem os objetivos a serem atingidos, os conteúdos a serem estudados e os procedimentos que serão adotados nas aulas dia-a-dia, semana-a-semana, mês-a-mês, ao logo de todo o período letivo a fim de viabilizar o estudo dos conteúdos e, assim, atingir os objetivos que justificam o ensino daquela disciplina.

No entanto, o trabalho educativo, além da dimensão técnica contém, também, uma dimensão artística. Ou seja, a obra educativa se reveste de um alto grau de originalidade que

dita ao educador determinadas regras de caráter intrínseco que, portanto, não são suscetíveis de serem compendiadas externamente para sua aplicação mecânica na realização prática da tarefa educativa. Esse aspecto artístico que em condições normais convive com o aspecto técnico exigindo do professor que encontre a medida adequada de combinação das regras intrínsecas e extrínsecas na realização de sua tarefa, em determinados momentos pode se manifestar de forma mais saliente.

(Saviani, 2012, pg 3)

Este princípio arquitetado pelo debate é de suma importância não somente para o conhecimento do professor mas também para o próprio aluno, para o desenvolvimento de seu raciocínio, de sua argumentação e principalmente para a geração de dúvidas. O questionamento e a curiosidade são as essências que movem a ciência e que podem definir a dedicação e nível de envolvimento do aluno com a disciplina e com o tema. Para o próprio estudante, a sua participação em um diálogo sobre um tema pode ser um fator determinante para ativar sua curiosidade sobre este. Os novos conhecimentos divulgados por seus colegas, os impasses ocorridos e as perguntas geradas e não respondidas poderão refletir diretamente no entusiasmo do aluno ao longo do curso. O objetivo da discussão neste primeiro momento é muito mais em gerar perguntas do que em gerar respostas, e a partir destas perguntas desenvolver nos momentos seguintes o conteúdo didático.

Por fim, vale ressaltar que apesar de questionarmos os alunos quanto às relações entre radioatividade e saúde humana esta não é a pergunta central de interesse do professor. A verdadeira questão a ser desenvolvida neste momento pedagógico está implícita e será direta ou indiretamente elaborada na fala dos alunos, sendo essa como eles definem radiação e de onde eles a conhecem. Assim, partindo dessas compreensões originais dos alunos, o professor será capaz de desenvolver o conteúdo de maneira a sempre interligá-lo com tais conhecimentos anteriores, experiências históricas e vivências sociais.

## 3.2 Irradiação de alimentos e a utilização da radioatividade

A partir do debate inicial dos alunos sobre a relação entre saúde e radiação podemos conhecer melhor o que a classe entende coletivamente como radiação e analisar as definições e os posicionamentos individuais de cada aluno quanto ao tema. No entanto, em tal análise lidamos com uma problemática crítica que é a tendência dos alunos a regularmente definirem radiação como algo negativo, perigoso e abominável e consequentemente se posicionarem na maioria dos casos contrariamente a aplicação da mesma. Esse posicionamento em si não é necessariamente negativo, todavia, a motivação de tal posicionamento partir comumente de preconceitos e desconhecimentos sobre o assunto é algo extremamente maléfico e até perigoso. Portanto, neste segundo momento de contextualização iremos dialogar com os alunos sobre as bases de suas opiniões e posicionamentos quanto a radiação e já começarmos a desenvolver um estudo mais científico, crítico e conceitual sobre o tema por meio de uma educação ambiental e a luz da justiça social.

Para melhor compreendermos as bases do posicionamento dos alunos, precisamos primeiro entender que todo indivíduo é influenciado por seu contexto sócio-histórico e cultural e que portanto todo posicionamento individual tem em si fatores sociais por natureza intrínsecos a ele. Assim, conseguimos entender melhor as bases das opiniões de um aluno ao analisarmos a sociedade e o contexto no qual ele está inserido, e vice - versa. Uma opinião nunca pode ser separada de seu contexto e de sua cultura mesmo a discussão sendo sobre um tópico científico que corriqueiramente é dito como isento de personalidades e influências sociais.

No caso da radiação, podemos compreender a grande massa de indivíduos que desaprovam sua aplicação e se posicionam sempre contrários a ela quando entendemos que essa população é diariamente bombardeada de informações, filmes, desenhos, notícias, conteúdos e opiniões que vilanizam a radiação. Portanto, mesmo sem um conhecimento básico sobre o assunto a massa de uma forma geral

tenderá a também vilanizar a radiação e a temer suas aplicações associando-a sempre a tragédias e a riscos de saúde. Novamente, a opinião contrária a radiação não é necessariamente um problema, no entanto, a falta de uma base científica neste posicionamento é extremamente preocupante pois abre oportunidades para discursos negacionistas e anti-científicos além de restringir as reais possibilidades de análise e escolha dos indivíduos.

Agora para abordarmos tal tema e iniciarmos tal problematização neste estudo pedagógico iremos utilizar do debate introdutório sobre as relações entre saúde e radiação e dos consequentes posicionamentos explícitos ou não sobre as aplicações da radiação. A partir deles, o professor pode levar a turma a um outro tópico de forma a continuar com a discussão, sendo este a *irradiação de alimentos*.

Iremos propor uma discussão sobre a irradiação de alimentos exatamente por essa polêmica por trás do tema e por essa prática de circulação de desinformações sobre o assunto em meios de comunicação. Ao perguntarmos aos alunos o que eles acham sobre irradiação de alimentos acreditamos que muitos se posicionem contrários por estarem inseridos em uma sociedade que abertamente se posiciona contrária a qualquer aplicação da radioatividade e que teme qualquer projeto ligado abertamente a radiação. Tal oposição é ainda mais crítica quando debatemos aplicações relacionadas à alimentação e à plantação, pois estas se relacionam diretamente com questões ambientais e de saúde pública e por este preconceito social aplicações radioativas são associadas sempre a interferências negativas.

Todavia, apesar desta visão do senso comum, quando estudamos por uma concepção científica percebemos uma possibilidade de interferência positiva da irradiação de alimentos tanto na saúde pública quanto em questões ambientais e até mesmo de justiça social. Pois esta protege alimentos de fungos, bactérias e microorganismos em geral aumentando seu tempo hábil para consumo e diminuindo a possibilidade de doenças geradas pela ingestão de alimentos infectados tais como a salmonela. Além disso, apesar do medo do senso comum quanto aos riscos da radiação, alimentos irradiados não se tornam radioativos e consequentemente não apresentam perigos à saúde humana até onde os estudos indicam até então.

A irradiação de alimentos, portanto, não somente é saudável ao ser humano mas também pode ser um fator definitivo contra o desperdício de frutas e hortaliças. Desperdício este que assola o terreno brasileiro, de acordo com o CEDES (Centro de Estudos e Debates Estratégicos) aproximadamente 26 milhões de toneladas de alimentos são desperdiçados anualmente no Brasil, dos quais 5,3 milhões de toneladas são de frutas e 5,6 milhões de toneladas de hortaliças (CEDES 2018). Esta perda gigantesca é em sua totalidade devido a pequena janela de consumo destes alimentos e aos problemas de transporte e logística que marcam o solo nacional, e tal perda agrava problemas que devastam o Brasil tais como a fome que tem aumentado drasticamente nos últimos anos. A irradiação de alimentos não será um salvador da pátria que transformará o país de forma utópica, no entanto, pode ser uma importante aliada facilitando a chegada de alimentos em locais de difícil acesso e consequentemente os barateando para a população destas regiões. Além de amparar a saúde pública diminuindo o risco de contaminação por ingestão de alimentos estragados e até mesmo contribuir em questões ambientais por reduzir as perdas e consequentemente os espaços separados para a produção agrícola em larga escala e possibilitando assim uma redução do avanço do agronegócio na Amazônia.

Novamente, o objetivo desta aula não é que os alunos passem a defender cegamente a irradiação de alimentos e a utilização da radioatividade, mas que percebam as bases de suas opiniões e saibam identificar se essas são científicas. Para que ocorra tal quebra de pensamento, após a discussão dos alunos sobre irradiação de alimentos (momento esse que a maioria dos alunos provavelmente se posicionará de forma contrária) o professor irá passar um posicionamento profissional e científico aos alunos quanto ao tema. Sendo este o vídeo do Youtube *IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS | #Irradiando06* do canal *irradiando* (Canal Irradiando, Youtube, 09/06/2020) onde a estudante de engenharia nuclear da UFRJ Raquel Cavalcanti, apresenta de forma didática e acessível, o que de fato ocorre na irradiação de alimentos, como chegamos a tal prática e como esta pode ser marcante para nosso cenário nacional.

A partir da explicação de Raquel é esperado que os alunos questionem seus posicionamentos e para além disso, despertem curiosidade e interesse sobre o assunto. O vídeo explica de forma breve a diferença entre um objetivo radioativo e irradiado e a existência de diferentes fontes de radiação como feixes de elétrons, raios X e raios Gama e tais conteúdos serão aprofundados na segunda etapa da aula pelo professor. No entanto, tal contato primeiro pode desenvolver nos alunos um maior interesse e entusiasmo no assunto que facilitará tais explicações futuramente.

A partir deste vídeo não somente o entusiasmo sobre o conteúdo pode ser impulsionado mas também outras questões novas poderão ser levantadas para um debate, questões estas principalmente ligadas a fala final de Raquel sobre as dificuldades de implementação da irradiação de alimentos no país. No vídeo, é comentado: "No Brasil essa tecnologia (de irradiação de alimentos) ainda não é muito utilizada, isto ocorre muito em função dos procedimentos que são caros e da demanda por uma infraestrutura mais especializada. Além disso, a aceitação no país ainda não é muito alta." E partindo desta fala podemos gerar duas importantes discussões: uma sobre o porquê de não termos esta infraestrutura especializada no Brasil e sobre investimentos em ciência e educação e outra igualmente importante sobre os motivos da baixa aceitação desta tecnologia no país e sobre o negacionismo científico.

Neste momento da proposta iremos nos orientar em tal segunda discussão para introduzirmos o terceiro debate de nossa contextualização: Por que a irradiação de alimentos não tem grande aceitação no Brasil e de onde vem nossos posicionamentos e nossas opiniões.

### **3.3 O medo da radiação e nosso papel diante dele como divulgadores da ciência**

A partir do vídeo e da discussão o professor pode desenvolver uma nova linha de raciocínio sobre radiação não sendo agora sobre opiniões quanto a radiação em

si mas sobre a base delas, de onde elas vêm. E junto aos alunos desenvolver um debate sobre o tão falado negacionismo científico.

Negacionismo científico é um termo muito comum nos últimos anos que vem ganhando destaque ao passo que crescem também os personagens e grupos assumidamente contrários à ciência. Todavia, tanto o termo negacionismo quanto o próprio ato de negar uma realidade (no caso a científica) não surgiram com os grupos anti-vacina e nem com o movimento contrário à esfericidade da Terra e estão ambos para muito além de somente tais casos isolados. O termo vem do francês *négationnisme* que se popularizou logo após a segunda guerra mundial para demonizar aqueles que não acreditavam na ocorrência do Holocausto, e o ato de negar realidades científicas e conhecimentos por quaisquer que seja o motivo é muito anterior a própria idade moderna e vai para muito além de grupos extremistas isolados.

Por muitas vezes o ser humano acaba por negar uma realidade tanto por desinformação, quanto por não analisar criticamente as informações que lhe são socialmente passadas ou simplesmente por tal realidade ir de encontro com aquilo que o indivíduo quer acreditar. E mesmo que a maioria dos alunos não questione o formato da Terra ou desacredite na eficiência de vacinas é importante, e papel do professor, ressaltar que qualquer um pode ser passível de negar uma realidades que lhe foi comprovada por ser algo desfavorável a seus posicionamentos, crenças e opiniões incluindo o próprio professor e o cientista.

Quando o professor debater negacionismo científico com os alunos é interessante partir para uma abordagem dos próprios negacionismos que nós temos em nosso meio e reproduzimos sem pensar criticamente sobre, e o diálogo sobre irradiação de alimentos e o vídeo do canal irradiando são ótimos exemplos para puxarmos este debate. E a partir deste debate pode-se não somente questionar os males do negacionismo mas também pensar-se em atuações, práticas e técnicas para lidarmos com ele.

Primeiramente, é necessário entendermos porque estudar e confrontar o negacionismo científico, ou seja, os males de um posicionamento anti ciência. Para tal, destaca-se a diferença de negar e questionar, o ato de questionar uma informação ou de analisá-la criticamente é não somente adequado como também deve ser encorajado, como veremos pouco mais a frente. Todavia, a negação de uma realidade sem analisá-la e tentar entendê-la é uma prática perigosíssima para o progresso de uma sociedade. É indiscutível o papel das evoluções científicas para produção de novas tecnologias da mesma forma que é indiscutível também o papel fundamental destes avanços tecnológicos para inúmeras das mudanças sociais que ocorreram ao longo da trajetória humana. Desde a criação de ferramentas primitivas até a criação de aviões, chips e computadores foram todos avanços tecnológicos que de uma forma ou de outra impactaram nossa sociedade e o negacionismo impulsiona pensamentos anti científicos que podem impedir vários destes avanços. A inovação e a produção de tecnologias de uma sociedade está diretamente ligada ao investimento e ao valor cultural que esta sociedade dá ao estudo científico, e a negação da ciência em larga escala impede tais avanços e tal progresso social. Para além, em casos de menor escala, o negacionismo científico pode ocasionar em perigos a indivíduos por estes ou outros a sua volta negarem medidas de segurança e conhecimentos benéficos à saúde humana que foram, em sua maioria, derivados da própria ciência.

Ao adentrarmos no tópico de radiação, o negacionismo científico se manifesta muitas vezes por medo da radiação e do que é radioativo. Este medo vem de diversas fontes, o ser humano tem um histórico marcado por grandes tragédias envolvendo radiação e os grandes meios de comunicação são em sua maioria incrivelmente tendenciosos de forma contrária as aplicações radioativas. Todavia, este medo é muitas vezes desproporcional ao verdadeiro perigo da situação e em casos como a irradiação de alimentos o próprio medo pode ser mais perigoso para a saúde humana que a irradiação em si. Tal medo impede o investimento em novas tecnologias que utilizam radiação e como foi anteriormente comentado, tais tecnologias podem ser revolucionárias tendo benefícios incalculáveis para a saúde humana. Voltando para o primeiro diálogo feito, podemos mostrar diversos aparelhos médicos que revolucionaram a medicina, salvaram diversas vidas ao longo da

história e até hoje salvam utilizando radiação. Tais como o famoso Raio X que é muito comum e imprescindível em qualquer hospital e quase foi impedido de ser criado pelo medo da população.

A partir de tal debate com os alunos, definimos os problemas e consequências negativas para a humanidade desta tendência negacionista e em especial do negacionismo científico, no entanto, o diálogo não deve ser interrompido ao fim deste momento. Tal como é planejado na alfabetização científica, além de ler o aluno deve saber a escrever cientificamente, ou seja, o aluno para além de entender como o mundo e a sociedade em sua volta funciona a partir de uma ótica científica deve entender o seu papel como atuante nesta e perceber o conhecimento científico como uma ferramenta transformadora do seu meio. Portanto, o debate com os alunos não pode ser finalizado após definirmos o obstáculo social que é o negacionismo e entendermos como ele afeta nosso meio, os alunos não são somente afetados pelo negacionismo em sua sociedade mas também são agentes ativos que modificam e transformam. Assim, após debater os perigos do negacionismo, o professor deve estender a conversa com a turma para a capacidade de transformação que tanto ele quanto os alunos têm e a possibilidade de mudanças e interferências nesta situação. Essa intervenção pode ser bem dividida em diversas formas, nesta proposta pedagógica achamos por bem dividi-la em duas principais frentes: A divulgação científica e o pensamento crítico.

A prática da divulgação científica tem um papel transformador importantíssimo em diversos setores de nossa comunidade, apesar de em muitos casos tal potencial de mudança não ser explícito ou direto, a existência e o investimento em divulgação científica ou em popularização da ciência pode alterar por completo os rumos de uma cultura e uma sociedade. A começar precisamos determinar o que é a divulgação científica, sendo essa a difusão do conhecimento científico para públicos não especializados de forma acessível, concreta, didática e prática. Ou seja, aproximar a ciência de um local a seu povo, tanto a partir de atividades, programas públicos, museus, conteúdos digitais e até mesmo pela própria divulgação por aqueles que de alguma forma chegaram a este conhecimento.

A divulgação científica pode ocorrer em diversos contextos e situações, desde que algum conhecimento científico seja compreendido, absorvido e eventualmente aplicado. Logo, é de suma importância para sua ocorrência a linguagem clara e didática e a relação entre o conhecimento e as vivências do indivíduo, para que ao mesmo tempo que o indivíduo entenda a mensagem a ser passada ele possa se identificar e se interessar por ela. Como consequência primeira da divulgação científica podemos perceber a democratização e popularização do acesso ao conhecimento além de em muitos momentos a divulgação auxiliar na proteção da saúde do indivíduo. No mais, podemos destacar a importância da divulgação científica para reafirmação da necessidade do investimento em educação, tecnologias e ciências, o incentivo e motivação para o estudo dos jovens, a deselitização não somente do acesso ao conhecimento mas do interesse pela pesquisa científica e como já foi previamente comentado, por ser uma importante aliada na luta contra o negacionismo e a cultura anti científica.

Para a divulgação e a popularização científicas ocorrerem é necessária a ação não somente de pesquisadores e estudiosos, mas também de políticos, grupos sociais, ONGs, empresas e principalmente da população em geral que teve acesso a tal conhecimento, logo os alunos que estão em sala. Os programas sociais de divulgação científica públicos ou privados são de extrema importância, no entanto, é de igual relevância a divulgação do conhecimento por estudantes que ao chegar em casa, na família, em rodas de amigos e em ambientes sociais em geral poderão contribuir da sua forma para a popularização do saber científico. A partir da própria vivência, de seus atos e posicionamentos ao ver o mundo por uma ótica científica, o estudante pode influenciar as pessoas a sua volta, transformar o seu meio e divulgar em seus gestos, ações e posições a ciência.

Não somente de tal forma o estudante é importante na divulgação científica. Sabendo da relevância de uma valorização significativa da ciência e de sua popularização, o aluno pode por conta própria ou juntando-se a grupos sociais estruturados lutar por maiores investimentos públicos e privados nesta área de evolução e divulgação científica. O professor não tem o papel de colocar o aluno em grupos sociais e passar a ele os discursos e pensamentos que ele deve seguir; no

entanto, é sim papel do professor demonstrar o mundo de forma crítica ao aluno e principalmente evidenciar o papel atuante política e socialmente do aluno. Os objetivos, posicionamentos são próprios do aluno mas é fundamental que o professor desperte e auxilie os estudantes em suas percepções sobre seu próprio papel social transformador.

Voltando para a proposta pedagógica, a partir da problematização do negacionismo realizada pela turma o professor pode demonstrar a importância de iniciativas de divulgação científica usando o vídeo do canal irradiando como exemplo que de divulgação que de forma clara e didática explica conceitos e atuações científicas ligando-as à sociedade e ao nosso meio e cultura. Outro importante exemplo que pode ser utilizado pelo professor são os centros de produção e divulgação de pesquisas científicas que já existem no Brasil. Apesar de seu grande valor em produção de conhecimento e seu grande potencial divulgador, esses não são destacados e popularizados por diversos fatores e acabam por não realizar seu papel democratizador do conhecimento em plenitude por falta de recursos, investimentos em exposição e pela falta de uma própria cultura social de apreciação científica.

Por fim, além da divulgação científica, outra importante frente de atuação contra o negacionismo é o pensamento crítico ou o questionamento. Apesar de não ser uma conexão direta, questionar as informações que lhe são passadas antes de aceitá-las como conhecimentos é uma prática importantíssima que pode definir o rumo de um indivíduo quanto a ideais negacionistas. Para tal questionamento é necessário um olhar e um pensamento crítico, no caso do negacionismo científico, um pensamento crítico científico. O aluno como indivíduo deve, a partir de seu olhar científico de mundo, questionar as informações que lhe chegam e pensá-las cientificamente.

Tal prática não é muito comum principalmente pelo afastamento do saber científico passado nas escolas para com a sociedade, no entanto, é papel do professor transformar essa situação e ressaltar nos alunos a importância de um

processo de ensino-aprendizado para além de somente o conteúdo, destacando a relação entre esse conteúdo e as vivências do aluno.

## 4. Desenvolvimento teórico

Este segundo momento de nossa proposta pedagógica será o momento de apresentação dos conteúdos em si, onde junto aos alunos o professor desenvolverá os conhecimentos físicos que previamente foram citados. Vale ressaltar que apesar de este ser o momento mais próximo de um ensino tradicional ainda assim este será feito a luz de uma perspectiva crítica onde o conhecimento é produzido de forma horizontal e não vertical e a ciência é analisada por uma perspectiva social. Além disso, destaca-se que este momento também se diferencia do ensino tradicional por sua relação com o primeiro momento introdutório temático, sendo portanto este momento não de introdução a radiação mas de imersão no conteúdo programático. “Após este levantamento, reflexão e análise, denominado por Paulo Freire de investigação temática, que há uma retomada da ação educativa, numa fase mais ampliada e com o material didático a ser utilizado com os alunos já sistematizado. (Delizoicov, 1983, pg 4)

Iniciaremos este processo de desenvolvimento teórico por um esquema de sala de aula invertida, onde primeiro os alunos pesquisam e estudam sobre determinado assunto que depois é debatido em sala com o professor de forma horizontal. Portanto, o desenvolvimento teórico não se iniciará no início de uma aula, mas ao final da última aula de contextualização.

Levando em consideração o que foi apresentado no primeiro momento pedagógico, os alunos tiveram contato com termos como radiação, irradiação, raios X, raios gama, feixes de elétrons e provavelmente mais diversos outros termos ligados ao estudo da radiação que forem utilizados pelos próprios alunos nos debates sobre radiação e saúde e irradiação de alimentos. Assim, começaremos o momento pedagógico de desenvolvimento teórico pela pesquisa destes próprios termos onde os alunos em casa irão procurar definir o que é radiação, onde ela está presente em seu dia a dia, a diferença entre um objeto radioativo e irradiado e por fim definir os termos científicos que surgiram ao longo do vídeo (tais como raios X, raios gama e feixes de elétrons) e que surgiram ao longo das discussões (que dependeram do rumo escolhido e das falas proferidas pelos alunos na

contextualização). Realizando assim um processo de sala de aula invertida tal como bem explica Valente (Valente, 2014).

Tal trabalho de pesquisa tem a função pedagógica de já ambientar os alunos nos conceitos que serão estudados e gerar questões a serem pensadas pelos alunos. Além disso, um importante papel desta pesquisa é que os alunos pesquisem sobre os próprios conceitos por eles citados ao longo do debate, pois são termos que de alguma forma fazem parte das vivências e da realidade dos alunos e consequentemente podem aproximar o conteúdo programático de seu meio social. Para mais, a pesquisa e o desenvolvimento de uma conceituação de termos abordados pelos próprios alunos podem desenvolver uma nova perspectiva crítica de suas falas e posicionamentos. Ao pesquisarem e definirem termos que eles mesmos apresentaram em suas argumentações os alunos possivelmente perceberão uma falta de domínio nestes conceitos e consequentemente uma reflexão sobre a argumentação sem bases científicas e sobre a utilização de conteúdos e termos científicos sem um real entendimento.

Partindo desta pesquisa e dos questionamentos por ela gerados, o professor poderá na aula seguinte dar continuação ao processo de desenvolvimento e fundamentação teóricos. Dividindo tal desenvolvimento da forma lhe convier de acordo com seus objetivos para com a aula e o contexto social de sua classe.

## 4.1 O que é radiação?

A partir do debate gerado na contextualização e da pesquisa dos alunos nesse momento inicial de desenvolvimento teórico, chegaremos a este momento de definição de conceitos e desenvolvimento do conteúdo em sala. E como o tópico é sobre radiação, este desenvolvimento começa por sua definição e pela quebra de algumas visões e paradigmas que os muitos alunos apresentam ao adentrarmos neste tema.

O professor, a partir da pesquisa em casa feita pelos alunos, vai introduzir a sala o conceito formal de radiação definindo-a como o processo físico de emissão ou propagação de energia por meio de partículas ou ondas. Ou seja, não somente a usina nuclear está ligada a radiação mas toda forma de deslocamento de energia incluindo a luz solar que nos aquece. Vale neste momento lembrar das aulas anteriores de termodinâmica, em que o professor definia as formas de propagação do calor como condução, convecção e radiação, sendo esta última a mesma radiação que agora estudamos pois estas definem exatamente a mesma coisa: propagação de energia.

Apesar desta definição e explicação primeira muitos alunos poderão continuar com dúvidas e dificuldades de aceitar a grandeza da radiação, e para isso alguns dados podem ser importantes, como por exemplo estas tabelas divulgadas pelo professor Felipe Ponciano de Novaes com as doses de radiação equivalentes cada atividade:

## Tabela de dose equivalente

Atividade	Dose (mSv)
Comer uma banana	0,0001
Escaneamento de segurança de aeroportos	0,0001
Dose anual típica de alguém que vive perto de uma usina nuclear no Canadá	0,001
Raio-X dental	0,005
Dormir perto de alguém por um ano	0,01
Voo de 7 horas	0,02
Viver em um prédio de pedra, tijolos ou concreto por um ano	0,07
Raio-x no peito	0,1
Aumento da radiação de fundo por um ano no topo da torre CN (em Toronto, Canadá) devido aos raios cósmicos	0,18
Dose anual para um minerador de urânia	1

# Tabela de dose equivalente

Exposição da tripulação aérea durante um ano de trabalho	2,2
Exposição anual à radiação de fundo natural (radônio, raios cósmicos, e comida)	2,4
Varredura PET de corpo inteiro	14,0
Tomografias computadorizadas do peito, abdômen e pélvis	21,0
Fumar 1,5 maço de cigarro por dia durante um ano	36
Dose anual de astronautas na Estação Espacial Internacional	150
Dose que pode causar doenças por radiação	1.000
Limite fatal recebido pelo corpo inteiro	10.000
Terapia nuclear (direcionada) contra câncer	10.000 – 50.000

Tabela 1: Doses de radiações equivalentes

(Fonte: Apresentação de Felipe Ponciano do grupo ICTP-SAIFR na ESPEM)

A partir desses dados, percebemos que a exposição a radiação é na verdade constante e natural a vida na Terra e que o real cuidado que devemos ter é com a quantidade e o tipo de radiação a qual estamos sendo expostos (os tipos de radiação serão posteriormente explicados). Descobrir que existe radiação em uma banana, em um prédio de concreto, numa viagem de avião e até mesmo na luz do sol que nos aquece é uma experiência que pode mudar por completo a concepção de um aluno sobre este tema.

Estudando estes gráficos podemos também entender como cada atividade emite sua dose equivalente de radiação e com uma explicação interdisciplinar mostrar por exemplo o perigo do fumo para a saúde e porque este está ligado ao risco de câncer no pulmão. A aula de radiação pode ser um momento propício para um estudo interdisciplinar sobre o câncer, explicando biologicamente como se formam as células cancerígenas e fisicamente como a radiação pode induzir a produção destas células. Este tópico será posteriormente aprofundado após estudarmos os tipos de radiação e conversarmos sobre radiação ionizante.

Este momento é também oportuno para iniciar uma categorização da radiação. Dividindo-a entre natural (que ocorre naturalmente em elementos da natureza) e artificial (que ocorre quando há uma interferência humana como um bombardeamento de átomos com partículas aceleradas). Além de ser um bom momento para conceituar fontes radioativas como todo e qualquer corpo ou material que tenha capacidade de emitir energia na forma de partículas ou ondas, ou seja, radiação.

Além de desconstruir a visão comum de radiação, este primeiro momento de definição pode introduzir um estudo de física moderna, explicando que existe uma relação entre a temperatura e a energia total irradiada por um corpo mesmo sem a utilização da Lei de Stefan–Boltzmann. Tal explicação agrega em muito ao conhecimento prévio dos alunos de propagação do calor por radiação, novamente relacionando o estudo de termodinâmica, temperatura e energia térmica com o estudo da radiação. Além de unida a definição de fontes radioativas mostrar que no fundo todos os corpos que nos rodeiam são fontes radioativas e tem interações radiativas naturais constantes por estarem em constantes trocas de calor com seu meio e com os objetos em sua volta.

Após esta definição de radiação, demonstração da sua importância científica e social, conscientização de sua existência em nosso meio e cotidiano encontra-se um momento vantajoso para se aprofundar nos estudos da energia radioativa. Para tal, uma interessante estratégia é voltar a contextualização e a pesquisa realizada anteriormente pelos alunos e questioná-los sobre o significado de “irradiação”, desenvolvendo um novo tópico sobre irradiação e contaminação radioativa.

## 4.2 Radioativo *versus* irradiado

Ao debater-se a irradiação de alimentos com os alunos no primeiro momento deste projeto pedagógico a maior probabilidade é que em sua maioria os alunos se posicionem contrários pelo medo de ingerir alimentos radioativos. Com o vídeo do canal irradiação é possível que esse medo diminua dentro da classe, todavia ainda

assim provavelmente ele continuará existindo pois muitos alunos continuarão com esse medo por desconhecerem exatamente a diferença entre irradiação e radioativo.

Portanto, este tópico se faz importante e merece uma atenção especial em sala, até para os alunos conseguirem bem entender o funcionamento da irradiação e como um corpo se torna uma fonte radioativa. E ao relembrar as discussões iniciais sobre irradiação de alimentos facilmente pode-se introduzir essa diferenciação entre um corpo irradiado e radioativo a partir agora da definição de radiação.

Usando as definições anteriores de radiação e fonte radioativa podemos dizer que um corpo radioativo é um corpo que emite radiação, ou seja, uma fonte radioativa, um corpo que emite energia tanto na forma de partícula como na forma de ondas. No entanto, isso não nos explica o motivo do medo e do perigo à saúde que é comumente ligado à radiação, portanto se faz necessária também a classificação de radiações ionizantes e não ionizantes.

Novamente analisando por uma óptica científica interdisciplinar podemos a partir dos estudos químicos de íons facilmente definir radiações ionizantes e não ionizantes como aquelas que respectivamente estão ligados e não estão ligados com a formação de íons. E a partir dos estudos bioquímicos entender a preocupação com a formação de íons e consequentemente de radicais livres dentro do corpo. Agora algo a se pensar é o motivo de algumas radiações formarem íons e outras não, esta pergunta pode gerar diversos debates dos alunos e em algum momento chegar a resposta dos níveis energéticos.

A partir da definição de radiação como propagação de energia podemos perceber que a sua possibilidade ou não de arrancar elétrons de átomos, isto é, formar íons e consequentemente radicais livres está completamente ligada com a intensidade desta propagação de energia. Quanto mais energia o corpo radioativo libera mais chance este tem de arrancar elétrons de átomos e formar íons, em outras palavras, quanto maior a energia liberada por uma fonte radioativa mais chance esta tem de ser uma fonte de radiação ionizante e ser consequentemente prejudicial à saúde.

Considerando tal explicação entende-se o motivo de socialmente associar-se radioatividade a problemas de saúde e entende-se o problema de tal associação. A radiação em si não somente é muitas vezes boa para nossa saúde como também é necessária para nossa sobrevivência em casos tais como o aquecimento pela irradiação dos raios de sol. Agora após esta explicação do que são corpos radioativos e os perigos de uma radiação ionizante podemos bem definir a irradiação e um corpo irradiado. E este seria não aquele corpo que libera energia e radiação mas aquele que entra em contato com a radiação e recebe a energia.

Ao realizarmos um raio X, por exemplo, estamos recebendo radiação de uma fonte radioativa e consequentemente estamos sendo irradiados. Tal como estamos constantemente sendo irradiados pelos raios solares, e por tantas outras fontes de radiação à nossa volta. Ao entrar em contato direto com algumas fontes de altos níveis radioativos o corpo pode vir a se tornar radioativo, como será melhor estudado a frente. No entanto, um alimento por exemplo, ao receber energia de um corpo radioativo não se torna radioativo também, somente é irradiado e recebe altas cargas de energia que podem ser úteis para matar micróbios, fungos e bactérias prejudiciais a saúde de quem os ingere como foi mencionado no vídeo.

Esta diferenciação precisa estar clara e ser compartilhada pelos alunos, um corpo pode sim se tornar uma fonte radioativa ao entrar em contato com outra fonte, no entanto, ao receber a energia (ou a radiação) que vem desta fonte o corpo se torna irradiado e não radioativo não contaminando assim corpos seguintes que com ele entrarão em contato. Como bem explicou Raquel Cavalcanti no vídeo IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, alimentos irradiados podem sim acabar perdendo nutrientes neste processo dependendo da fonte, do tipo de radiação e da intensidade, todavia, não se tornarão radioativos por não terem entrado em contato direto com nenhuma fonte ou material radioativo.

Este debate de irradiação de alimentos é importante mas não é o único debate social que aborda tal tema e merece ser estudado em sala. Os exames de Raios X, o microondas e diversas outras situações sociais onde algum corpo é

irradiado por uma fonte podem servir de exemplos e serem estudados. Para tal estudo é interessante que classifiquemos as irradiações e uma boa forma de realizar tal divisão é pela forma de irradiação. Divide-se as exposições radioativas em três tipos: as irradiações de exposição única, as de exposição fracionada e de exposição periódica. As irradiações de exposição única são as que em um único momento o corpo tem contato com a energia recebida da fonte, quando fazemos um exame de Raios X, por exemplo ou quando nossa comida entra no microondas. As irradiações fracionadas são radiações que acabam sendo divididas em momentos separados para diminuir os efeitos no corpo do receptor irradiado, como é o caso dos tratamentos radiológicos e nas quimioterapias. Por fim, as exposições periódicas são exposições que ocorrem corriqueiramente para um certo indivíduo, como por exemplo as irradiações que um piloto de avião ou um médico oncologista recebem diariamente ao trabalharem. Esta diferenciação é importante para definirmos os diferentes perigos que estão ligados com cada uma destas exposições, principalmente ao estudarmos fontes de radiação ionizantes. Por fim, um bom exercício para avaliar o processo de ensino-aprendizado deste momento é pedir um exemplo para os alunos de cada uma destas irradiações além de exemplos de irradiação por fontes ionizantes e não ionizantes.

Esta classificação de exposições periódicas, únicas ou fatoradas pode explicar por exemplo o porquê de médicos se “defenderem” da exposição ao utilizarem uma máquina de Raio X e o paciente não necessitar de tamanha defesa. Pois enquanto o paciente tem uma exposição única a esta radiação, o médico tem uma exposição periódica e portanto a não proteção causaria muito mais risco a sua saúde. A partir deste exemplo do médico que aplica o Raio X pode-se gerar também diversas outras discussões e explicações como o porquê de utilizar-se placas de chumbo para se defender da radiação do Raio X.

Como antes comentado, não somente a intensidade da radiação é um fator importante a ser analisado mas também que fonte de radiação é esta e que partículas radioativas estão sendo emitidas. Portanto, o próximo tópico de estudo nesta proposta pedagógica é exatamente a análise destas partículas emitidas e das fontes radioativas.

## 4.3 Emissões nucleares

Para iniciarmos este tópico de emissões nucleares que é um dos principais de todo estudo da radiação uma boa estratégia é voltarmos a classificação de fontes radioativas naturais e artificiais. E começarmos a questionar o porquê das fontes naturais, ou seja, porque alguns elementos espontaneamente liberam energia, e de onde esta energia vem?

Tal pergunta indagou diversos cientistas que ao final do século XIX e no início do século XX. Ao descobrirem estes elementos naturalmente radioativos estudaram suas estruturas e a radiação que emitem; e pelo caráter histórico pedagógico desta proposta, antes de estudarmos a natureza destes elementos é válido um destaque para tais cientistas. Entre eles, temos William Crookes (1832-1919) sendo conhecido como o descobridor dos Raios X, Ernest Rutherford (1871- 1937) que descobriu a pluralidade de partículas nucleares emitidas radioativamente a famosa família Curie que revolucionou os estudos químicos e físicos quando Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867- 1934) juntos descobriram, isolaram e estudaram o Rádio, Marie descobriu e isolou o Polônio e novamente quando Irene Curie (1897 - 1956), filha deles, produziu pela primeira vez elementos radioativos artificiais. Esta luta para entender e dominar a radioatividade foi marcada por revoluções que transformaram todo pensamento científico da época, por grandes descobertas e inovações. No entanto, foi marcada ao mesmo tempo por grandes preconceitos, injustiças e sexismos da população e da própria cúpula científica para com as novas mentes femininas que revolucionavam o saber científico e por grandes dores e perdas geradas pelo desconhecimento dos males que o contato direto com fontes radioativas ionizantes causa.

Sobre os males enfrentados por tais grandes cientistas podemos gerar importantes discussões, principalmente a respeito das mulheres na ciência e pelo preconceito por elas enfrentado até hoje no meio acadêmico e científico, mas também sobre os riscos à saúde que levaram ao falecimento precoce de diversos destes grandes cientistas. Focando para a discussão de mulheres na ciência temos inúmeros exemplos que podem ser utilizados, desde cientistas que sofreram

preconceitos e injustiças por serem mulheres até exemplos de machismos mais estruturais como a preocupante discrepância entre o número de homens e mulheres laureados com prêmios em áreas científicas tais como o Nobel. No caso dos prémios Nobel de física e Nobel de química, entre os 402 prêmios, somente 11 foram entregues para mulheres (aproximadamente 2,7%), sendo três desses 11 para Marie ou Iréne Curie. Um caso famoso de importante discussão em sala é o Nobel de Física de 1903 que inicialmente seria entregue somente a Pierre Curie e Henri Becquerel excluindo Marie Curie dos premiados apesar de seu importante papel nos estudos da radiação por um forte sexismo enraizado na cúpula científica da época assim como na sociedade como um todo. Somente após reclamações de Marie, Pierre e do matemático Magnus Gösta Mittag-Leffler membro do comitê que Marie foi também laureada tornando-se a primeira mulher a receber um Nobel e posteriormente a primeira pessoa a colecionar mais de um destes prémios sendo gratificada em 1911 com o Nobel de Química. Aproveitar este momento do estudo para discutir este caso e os problemas estruturais em nossa sociedade consequentes do sexismo nela enraizado é de suma importância nesta proposta pedagógica em que pretendemos debater o conhecimento científico à luz de uma justiça social e de uma perspectiva histórico-crítica.

Após este importante debate social e histórico sobre os cientistas, e em especial as cientistas, que estudaram as fontes radioativas e suas emissões e revolucionaram com este estudo o mundo da ciência, volta-se as perguntas que os impulsionaram: porque alguns elementos espontaneamente liberam energia, e de onde esta energia vem?

Para responder este questionamento, vale lembrar o conceito químico de isótopos ou seja, átomos de mesmo número atómico (mesmo número de prótons ou de elétrons) mas com número distinto de nêutrons, ou seja, átomos do mesmo elemento mas com massas diferentes. E a grande diferença entre estes átomos é que as forças dentro dos núcleos desses se distinguem pois existe uma força chamada força nuclear forte que é de natureza atrativa e atua nas sub partículas que compõem o núcleo de um átomo tais como os nêutrons.

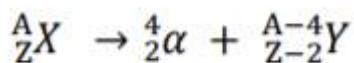
Vale também relembrar que entre as forças atuantes num átomo temos a força elétrica que age repelindo subpartículas de cargas de mesmo sinal e atraindo as de sinais distintos, ou seja, que depende do número de prótons e elétrons da partícula. Consequentemente, pode-se afirmar que átomos do mesmo elemento (mesmo número atômico) e diferentes massas tem uma resultante de forças diferentes e consequentemente características diferentes. Logo isótopos podem ter diferentes características e entre estas temos a estabilidade que depende de um equilíbrio entre tais forças (nuclear forte e elétrica). Isótopos sem um equilíbrio entre tais forças podem acabar por não ter estabilidade e consequentemente podem espontaneamente se desintegrar e emitir partículas altamente energéticas que se desprendem do núcleo, se transformando assim em outros elementos e se tornando fontes radioativas.

Para ocorrer tal desintegração nuclear é preciso que o elemento tenha uma força elétrica muito intensa e uma força nuclear forte de baixa intensidade. Logo, tal desintegração é característica de isótopos 'leves' de elementos 'pesados', ou seja, átomos com muitos prótons e nêutrons mas comparativamente poucos nêutrons. Quando ocorre desintegração, como escapam prótons de seu núcleo, o átomo libera elétrons para compensar e consequentemente muda seu número atômico e portanto sua natureza, como já antes mencionado. Estes prótons e elétrons que saem altamente energéticos emitem partículas radioativas classificando o elemento como uma fonte radioativa. Explica-se assim a popularização do termo 'nuclear' e seus derivados no estudo e nas aplicações da radiação, pois diferente da força elétrica, das reações químicas e de praticamente todos os fenómenos atómicos até então estudados na física e na química, a radiação ocorre de forma espontânea num átomo somente quando existe uma mudança em seu núcleo. Sendo então o único ramo da física ou da química até o momento que estuda transformações nucleares.

Como já comentado, tais transformações nucleares liberam partículas radioativas e estas podem ser divididas em três de diferentes naturezas, as partículas Alfa, Beta e Gama. Cada uma é emitida de uma forma distinta e tem características diferentes, entre elas tamanho, carga e poder de penetração. Sempre que ocorre uma desintegração nuclear e consequentemente uma transformação de

um elemento em outro por alterações em seu núcleo pelo menos uma dessas partículas são emitidas.

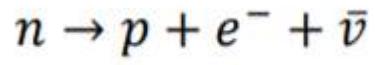
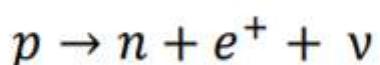
Ao começar os estudos destas partículas, estuda-se a partícula Alfa ( $\alpha$ ). Esta foi estudada por Rutherford (antes mencionado) durante o decaimento do urânio, fazendo experimentos com esta partícula em campos elétricos descobriu-se que sua carga é positiva. Posteriormente descobriu-se que ela é formada por dois prótons e dois nêutrons, ou seja, que sua carga é +2 e sua massa é de 4 sendo uma composição análoga ao átomo de He (número atômico 2 e massa 4). Portanto, quando um átomo libera uma partícula alfa, este perde 4 unidades de massa e 2 números atómicos, se transformando no átomo 2 números atómicos menor. A equação geral de emissão de partículas alfa é portanto essa:



O elemento hipotético X ao emitir uma partícula alfa se transforma no elemento hipotético Y, de número atômico menor por duas unidades. Tal decaimento ocorre espontaneamente em isótopos de átomos pesados, de número atômico igual ou maior a 83, no entanto, seu exemplo mais clássico é com o isótopo  $^{238}\text{U}$  (Urânio de massa 238 unidades) em que este se transforma no isótopo  $^{234}\text{Th}$  (Tório de massa 234 unidades) passando do número atômico 92 para o 90. Ressalta-se que nesse decaimento alfa além da partícula alfa também são liberados dois elétrons da eletrosfera para compensar a carga dos dois prótons emitidos.

As partículas alfa são extremamente energéticas e por sua carga e tamanho tem alto poder ionizante, ionizando provavelmente o primeiro átomo que encontrar se estabilizando como um átomo de hélio neutro (He). Por conta disso, seu alcance não é muito elevado, e consequentemente definimos que seu poder de penetração é baixo apesar do grande valor de sua energia cinética. Na prática, em contato externo com o ser humano as partículas alfa não são perigosas pois não atravessam as camadas iniciais da pele. Todavia, a ingestão de uma fonte de partículas alfa é de alto risco para a saúde humana por seu elevado poder ionizante.

Partindo para as partículas Beta ( $\beta$ ), estas começaram a ser estudadas em 1900 e têm massa praticamente nula quando comparada com uma partícula alfa ou um próton e carga +1 ou -1, logo, são elétrons ( $e^-$ ) ou pósitrons ( $e^+$ ). O pósitron é a antipartícula do elétron, ou seja, uma partícula com as exatas mesmas características e carga oposta. Todavia, mesmo a partícula Beta sendo um elétron ou anti elétron esta é emitida do núcleo e não da eletrosfera, núcleo esse onde teoricamente existiam somente nêutrons(n) e prótons(p). Após 34 anos de estudo, Enrico Fermi explicou esta contradição com a descoberta do neutrino ( $\nu$ ), uma subpartícula que compunha os prótons e nêutrons, neutra e de massa desprezível. A partir desta entendeu-se a partícula beta com uma transformadora entre prótons e nêutrons, onde uma partícula beta positiva ( $\beta^+$ ) era a transformação de um próton em um nêutron emitindo um neutrino e um pósitron (consequentemente perdendo sua carga) e a partícula beta negativa ( $\beta^-$ ) era uma transformação de um nêutron em um próton, em que este emitia um elétron e um antineutrino (antipartícula do neutrino) passando assim sua carga de 0 para +1. Tais reações são respectivamente exemplificadas a seguir:



Respectivamente a equação geral de uma emissão de partículas beta positiva e negativa são:



A emissão de partículas Beta não altera a massa de um átomo, somente sua carga, levando-o a roubar ou liberar um elétron dependendo da carga da partícula beta emitida. As partículas beta têm um poder de ionização médio mas um poder de penetração muito mais elevado, sendo blindadas por uma folha de alumínio mas não mais pela pele humana. Um exemplo clássico deste decaimento ocorre no 214 Bi

(Bismuto de massa 214 unidades) que ao emitir uma partícula beta negativa ( $\beta^-$ ) se transforma no 214 Po (Polônio de massa 214 unidades), passando seu número atômico de 83 para 84.

Por fim, a radiação gama ( $\gamma$ ) é uma radiação que diferente das partículas alfa e beta não possui carga, não alterando portanto a natureza da fonte. Além disso, a radiação gama não possui massa considerável, emitindo portanto somente fótons, sem alterar nem o número atômico nem a massa do átomo emissor. Tal tipo de radiação é emitida por elementos muito pesados ao se rearranjar dentro do núcleo emitindo fótons altamente energéticos e praticamente permanecendo inalterados em relação a sua natureza, massa e cargas. Tais átomos de elementos pesados tem uma grande quantidade de partículas no núcleo, tendo consequentemente uma alta complexidade e uma infinidade de configurações distintas a se realizarem dentro deste, quando altera-se espontaneamente ou artificialmente a configuração de um desses núcleos este libera fótons altamente energéticos que são os raios gama. Tais raios gama se comparam aos raios X emitidos pelos elétrons da eletrosfera, todavia, os raios gama são emitidos do núcleo e consequentemente tem uma maior energia cinética e portanto uma maior frequência. Por seu pequeno tamanho e sua alta energia, os raios gama tem um poder de penetração extremamente alto e um alcance exorbitante, penetrando praticamente qualquer material, sendo freados somente por espessas camadas de chumbo ou concreto. Quanto ao seu poder ionizante, ao colidir com um átomo em alguns casos pode vir a separá-lo em decorrência de seu alto valor energético e por consequência este átomo pode levar a ionização de outros.

Ao emitir tais radiações, os átomos radioativos instáveis vão se desintegrando e formando outros elementos que podem vir a ser radioativos e continuar se desintegrando até a formação de um elemento estável. O tempo que leva para metade de uma amostra de átomos radioativos decair até uma estabilidade chama-se Meia-vida, ou seja, o tempo necessário para um corpo radioativo decair em 0.5 sua radioatividade.

Este conceito de meia vida é de extrema importância nos estudos da radiação e muitas vezes pode vir a ser mal interpretado, o decaimento dos átomos radioativos é sempre proporcional ao seu momento e não ao seu início. Logo, se em 20 dias um isótopo radioativo decaiu de uma massa de 100 g para 50 g, 20 dias é a meia vida deste isótopo, e após mais 20 dias ele decairá para 25 g e após mais 20 dias para 12,5 g seguindo assim por diante. Vale ressaltar que a massa de um átomo é proporcional ao número de mols deste átomo, ou seja, a quantidade de átomos radioativos cai proporcionalmente à massa nesta razão de reduzir-se a metade por um determinado período de tempo (Meia-vida). Como consequência, o gráfico de decaimento de uma amostra radioativa segue a linha de uma função exponencial de expoente  $\frac{1}{2}$ , tal como o exemplo a seguir:

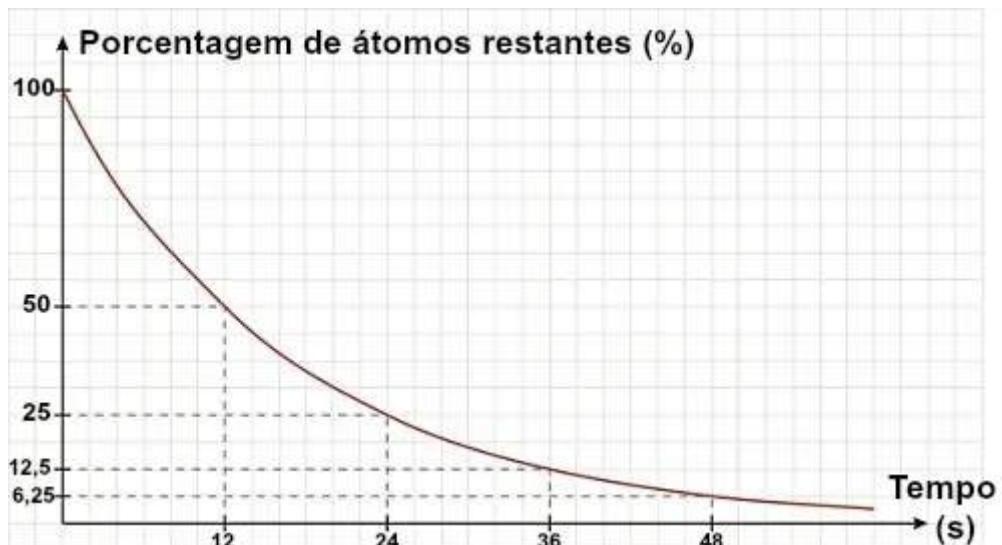


Gráfico 1: Porcentagem de átomos radioativos restantes por tempos

(Fonte: DIAS, Diogo Lopes. "O que é meia-vida?"; Brasil Escola)

Bem entender este conceito de meia vida é muito valioso para o processo de ensino-aprendizagem de radiação a partir da óptica que procuramos nesta proposta pedagógica, a necessidade de precaução extrema com lixos e dejetos radioativos está diretamente ligada a esse conceito.

Considerando que cada isótopo radioativo tem um tempo específico de meia vida e levando em conta este decaimento com expoente  $\frac{1}{2}$ , alguns materiais podem ficar anos e décadas emitindo radiação e o contato direto ou indireto com estes pode vir a ser extremamente prejudicial à saúde humana. E os cuidados, o descarte prudente e os investimentos estatais em precauções, instruções, monitoramento e alertas de tal perigo podem ser fatores determinantes para a proteção da população que se aloca perto de locais com lixos tóxicos ou que por qualquer motivo tem a possibilidade de contato com tais.

Partindo para uma óptica de justiça social destaca-se também o perigo de lixos radioativos descartados de forma errada que podem acabar parando em lixões e aterros sanitários e contaminando a população em volta destes locais por décadas. Ressaltando que tais moradores são já comumente marginalizados por seu baixo poder econômico, muitos dependendo inclusive dos próprios lixões e aterros para seu próprio sustento. Estudar a radiação não é temê-la e fugir dela, mas também não é ignorar os riscos à saúde do contato com uma fonte de radiação ionizante sem os cuidados necessários.

Por fim, destaca-se notícias que podem ser mostradas em sala, como o caso de setembro de 2013, noticiado pela revista Exame, em que um navio com 353 toneladas de lixo tóxico radioativo veio dos Estados Unidos para despejar tal material no Brasil, mais precisamente em Santa Catarina. Outra notícia de destaque também de 2013 da BBC Brasil alerta para o lixo eletrônico que se concentra 80% em países pobres apesar da utilização de tais materiais ser concentrada nos países mais ricos e que podem conter pequenas fontes de emissões radioativas em suas composições “Boa parte do lixo eletrônico exportado para as nações em desenvolvimento é enviado ilegalmente, e estes detritos acabam indo parar em plantas de reciclagem informais, predominantemente em países como China, Índia, Gana e Nigéria (...) De acordo com o estudo, as nações em desenvolvimento estão tendo de lidar com o ônus de um problema global, sem ter a tecnologia para lidar com isso. Além disso, os países em desenvolvimento estão eles próprios cada vez gerando maiores quantidades de lixo eletrônico.” (BBC Brasil, Países pobres são destino 'de 80% do lixo eletrônico de nações ricas', 18 de janeiro de 2013).

## 4.4 Séries radioativas

Seguindo a linha de raciocínio deste estudo, após analisar-se conceitualmente e criticamente o decaimento e a meia vida dos compostos radioativos começa-se o estudo das séries radioativas. Como o nome indica, as séries radioativas são decaimentos que emitem partículas radioativas ocorrendo em série de forma espontânea ou artificial.

Quando um átomo pesado e instável se transforma em outro elemento menor emitindo partículas alfa ou beta, não necessariamente este segundo será estável. Como consequência, este pode acabar emitindo também partículas radioativas e diminuindo seu número atômico até atingir esta estabilidade. Essa sequência de transformações nucleares até o alcance de uma estabilidade do átomo chama-se série radioativa. Um decaimento de Urânio de massa 238 para o Tório de massa 234 como foi utilizado de exemplo para emissões de partículas alfa não necessariamente torna o elemento estável, podendo este Tório 234 se transformar em um Protactínio de massa também 234 mas de número atômico 91, por exemplo, ao emitir uma partícula beta B- (lembrando que o número atômico do Tório é 90).

Não somente este exemplo de uma série radioativa pode ser utilizado mas diversos outros, na natureza existem três principais séries radioativas que podem ser inclusive chamadas de famílias radioativas. Nas três, algum elemento pesado vai emitindo radiação na forma de partículas alfa e beta até atingir um isótopo do elemento Chumbo (Pb de número atômico 82) pois este é o maior elemento estável facilmente atingido. Estas três séries ou famílias radioativas partem de um isótopo de urânio ou de tório e são chamadas de Série de Urânio, Série do actínio (que apesar do nome parte de um isótopo do urânio também) e Série de Tório. O início e o resultado final destas três séries são demonstrados na figura a seguir:

## SÉRIES RADIOATIVAS NATURAIS

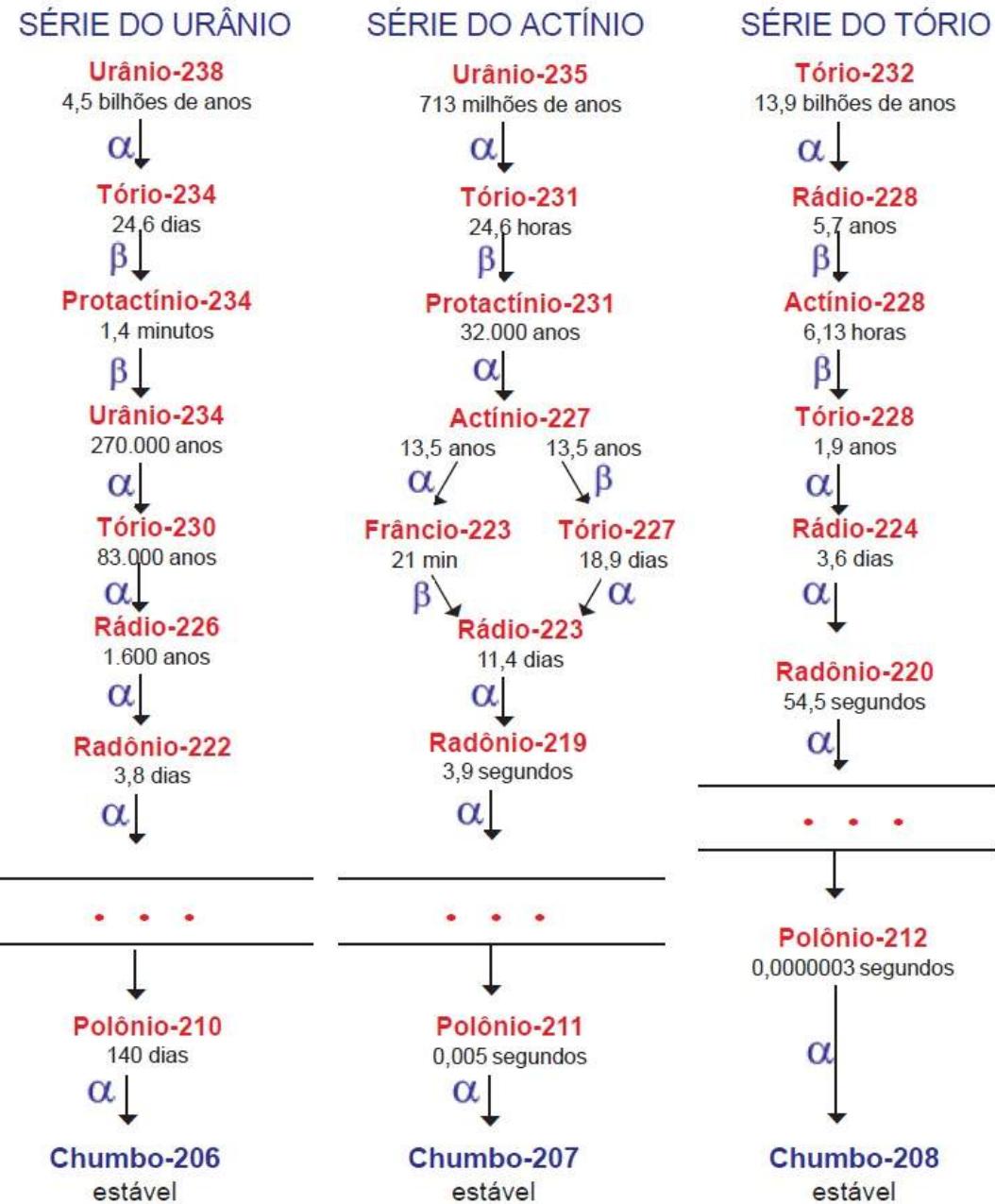


Imagen 1: Sérias Radioativas naturais)

(Fonte: Cardoso, E.M. Apostila Educativa Radioatividade)

Neste esquema das famílias radioativas percebe-se um tempo específico para cada decaimento que pode variar entre centésimos de segundos e bilhões de anos. Apesar desse valor teoricamente fixo para cada isótopo, o decaimento de um

átomo não é realmente uma constante, sendo na realidade um valor probabilístico. Diferentes átomos de um mesmo isótopo radioativo tem diferentes tempos de decaimento, de sua configuração, sua estrutura, natureza e também de certos fatores aleatórios ligados ao seu meio e situação. Logo, é impossível confirmar o tempo exato para naturalmente ocorrer uma transformação nuclear.

No entanto, estudando as estruturas de cada isótopo e utilizando-se de um apanhado de casos conseguimos estimar um valor médio para os decaimentos de cada estrutura atômica sendo este a média aritmética do tempo de vida dos exemplos estudados. O valor apresentado embaixo de cada elemento da série é este tempo de vida médio de determinado isótopo e a partir deste que chegamos ao valor da vida média que anteriormente foi estudado. Tendo como base tal definição probabilística do tempo de vida médio pode-se definir meia-vida como o *tempo necessário para o número de isótopos radioativos de uma certa substância se reduzir à metade*.

Apesar desta realidade probabilística da meia vida aparecer ser um conteúdo muito avançado para o ensino escolar, existem analogias fáceis que facilitam seu entendimento. Um bom experimento para este maior entendimento é o professor lançar diversas moedas ao mesmo tempo e ir retirando as que “derem cara”, anotando sempre os resultados, quantas moedas foram lançadas e quantas deram cara em cada lançamento. Partindo deste experimento pode-se entender que eventos aleatórios acabam repetindo um padrão probabilístico com uma variação em torno de um certo valor central. Voltando este experimento para a física pode-se comparar o decaimento de um átomo com a moeda “dar cara” e consequentemente comparar o tempo de meia vida do isótopo com o número de lançamentos necessários para o número de moedas se reduzir à metade do anterior. Depois pode-se repetir o experimento utilizando dados ao invés de moedas e retirar os que derem 6 para facilitar o entendimento dos diferentes tempos de meia vida de diferentes elementos, mostrando que apesar de ambos serem eventos probabilísticos e aleatórios estes variam em torno de diferentes valores centrais.

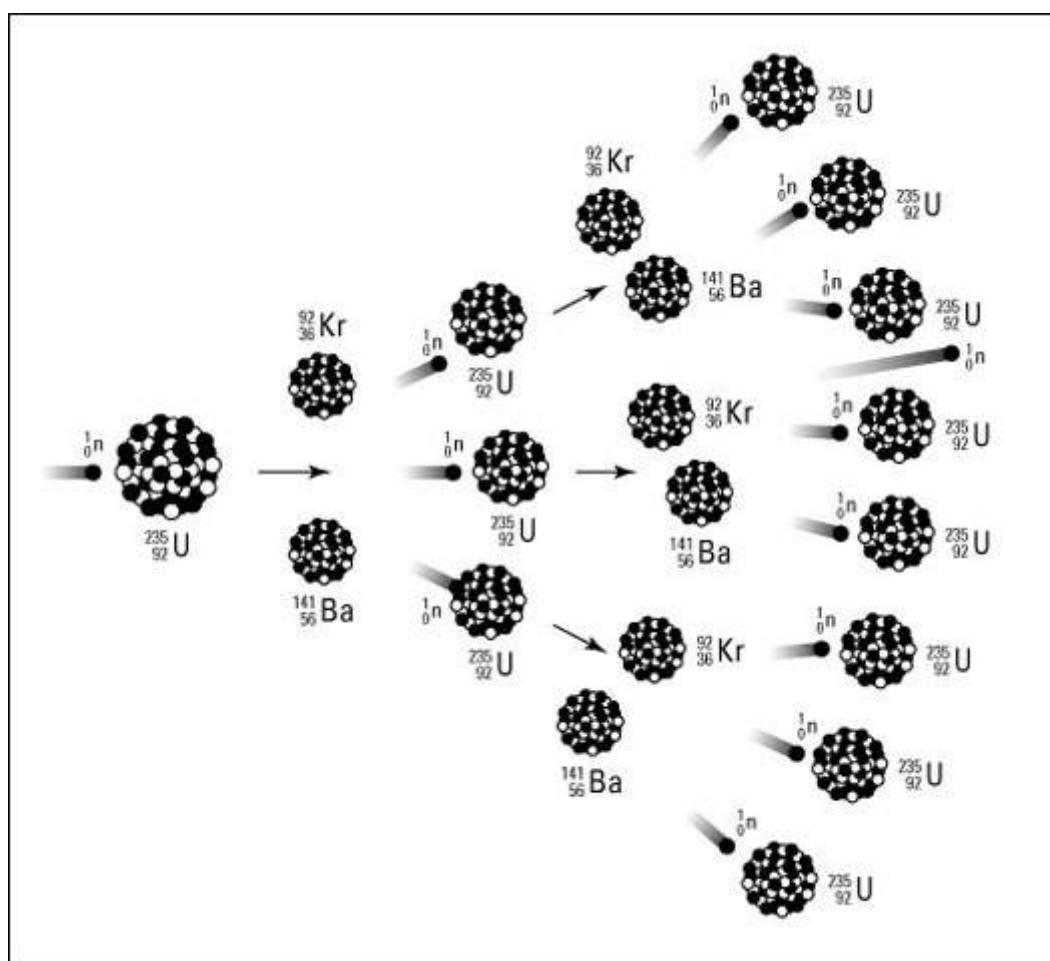
Ainda sobre esta definição probabilística do tempo de vida dos isótopos radioativos e consequentemente do tempo de meia-vida pode-se gerar um interessante debate com o alunato sobre a probabilidade e as incertezas da física. Ao longo de todo período escolar os alunos têm a visão da física como um amontoado de conceitos, constantes e equações sempre fixos e bem determinados, todavia esta visão na física e nas ciências de uma forma geral é incorreta. Os conceitos e valores da física não são estáticos e bem determinados mas em muitos casos são probabilísticos e contém em si uma certa incerteza associada. Muitos inclusive têm causas desconhecidas pela humanidade e são estudados somente a partir da experimentação e da análise de resultados obtidos. Uma discussão tal como essa poderá quebrar um ideal científico que é amplamente divulgado socialmente e consequentemente possibilitará ao aluno uma visão de ciência como integrante social, tal como discutido anteriormente no referencial teórico. Aos estudantes esta nova perspectiva da ciência como um todo pode importar não somente em sua vida acadêmica mas perdurar em suas convivências sociais para além do colégio, transformando sua perspectiva social e o ideal do que é ciência para eles como não somente alunos mas indivíduos.

## 4.5 Reações nucleares

Para finalizar o desenvolvimento teórico desta proposta pedagógica serão discutidas com os alunos as reações nucleares, sendo estas as reações que ocorrem a partir da interação de dois núcleos distintos. Tais interações podem ocorrer tanto absorvendo quanto liberando uma grande quantidade de energia e consequentemente emitindo grandes cargas radioativas. Existem dois tipos de transformações nucleares e ambos serão neste momento pedagógico estudado, sendo estes a fissão e a fusão nuclear.

#### 4.5.1 Fissão nuclear

A começar pela fissão nuclear, esta ocorre quando uma partícula ou um átomo em altíssima velocidade se choca contra um núcleo de um isótopo repartindo-o em um ou mais átomos menores. Este choque libera uma grande carga energética e diversos nêutrons que consequentemente poderão também se chocar em altíssima velocidade com outros núcleos formando o que chamamos de reação em cadeia. Um exemplo destas reações em cadeia está a seguir, utilizando o isótopo do Urânio (U) de massa 235 e atingindo-o com um nêutron em altíssima velocidade. Como consequência, ocorre a fissão do Urânio separando-o em um átomo de Crípton (Kr) de massa 92 e um de Bário (Ba) de massa 141 além de liberar mais dois nêutrons e uma imensa carga energética. Estes dois nêutrons mais o anterior seguem em altíssima velocidade acertando mais três núcleos de Urânio 235 e formando assim a reação em cadeia:



## Imagen 2: Fissão nuclear do Urâno 236

(Fonte: Lira J.C.L. Reação em Cadeia. Infoescola. Química)

Esta reação foi utilizada como exemplo por ser a base dos reatores nucleares que produzem energia para nossa sociedade. Os altíssimos níveis energéticos emitidos na reação em cadeia são utilizados para aquecer uma água que por sua vez ao evaporar passa energia para uma bobina que transforma tal energia cinética em elétrica. Não somente esta é uma utilização da fissão nuclear mas pouco a frente estudaremos diversas práticas de importante função em nossa sociedade que dependem desta reação, sejam na pesquisa, no estudo, na produção de energia ou até mesmo em combate a problemas ambientais.

Outro cuidado que deve-se tomar ao estudar as fissões nucleares é compreender que nem sempre estas obrigatoriamente resultarão nos mesmos produtos. Pois a forma como o núcleo será quebrado e consequentemente os produtos desta quebra e os trajetos desses produtos após a mesma dependerão de uma série de fatores como a partícula que foi emitida (nêutron, elétron, fóton ou qualquer outra), a velocidade da partícula emitida e a forma e local como a partícula atinge o núcleo. Para estudar as diferentes reações, os diferentes produtos e as diferentes consequências de cada fissão é que temos os aceleradores de partículas, onde, como o nome já diz, partículas são aceleradas e lançadas ao encontro de núcleos atómicos.

### 4.5.1 Fissão nuclear

Comparativamente, enquanto a fissão nuclear é a divisão de um núcleo atómico em dois diferentes átomos, a fusão nuclear é essencialmente o oposto. Quando dois núcleos distintos ambos altamente energizados se chocam, eles podem acabar a vir se unindo, virando assim um terceiro átomo com a massa e número atómico dos dois originais somados e liberando também muita energia. Tal reação necessita de inigualáveis quantidades de energia para que ambos os átomos tenham uma energia cinética associada em si tamanha para se unirem a partir do

choque, por consequência, fusões nucleares não ocorrem facilmente sendo até o momento impossíveis de serem reproduzidas artificialmente. A fusão nuclear é característica das estrelas e até o momento não se tem notícia de nenhuma outra situação onde tal reação ocorra. No Sol temos constantemente reações de fusão de hidrogênio como a demonstrada a seguir, onde dois átomos de hidrogênio (massa 2 ou 3 e número atômico 1) em altíssima velocidade se chocam se fundindo e formando um átomo de Hélio (massa 3 ou 4 e número atômico 2) mais um nêutron solto e liberando uma grande carga energética.

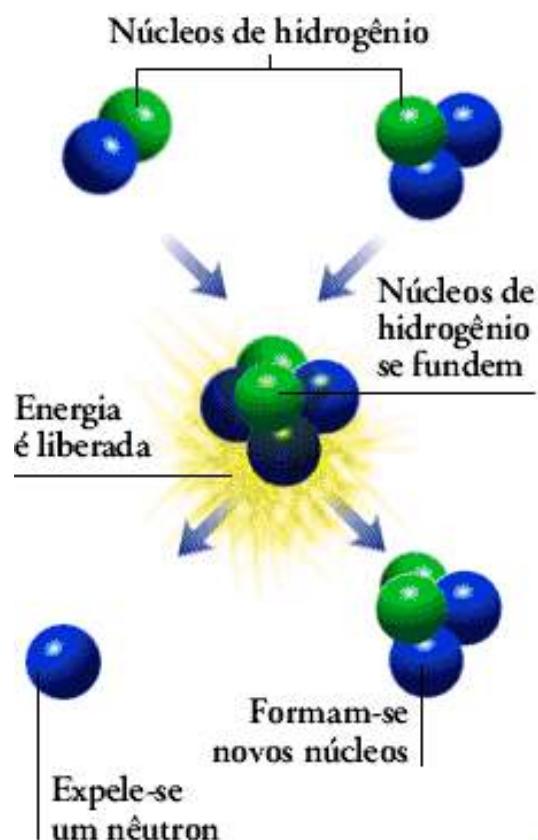


Imagen: Fusão nuclear do hidrogênio

(Fonte: Araújo F. Energia Nuclear. Física Comentada. 19 de janeiro, 2012)

Uma importante diferenciação entre a fissão e a fusão nuclear é que a fissão ocorre normalmente em átomos muito pesados, pois estes tem que ser suficientemente grandes para não somente serem atingidos pela partícula mas se

partirem e formarem produtos que possam continuar a se dividir liberando cada vez mais energia. Todavia, a fusão nuclear ocorre, na maioria dos casos, entre os átomos de menor tamanho e número atómico da tabela, pois tal reação requer que seus componentes tenham uma energia cinética associada extremamente alta e átomos mais pesados não somente são mais difíceis de acelerar como também precisam de uma energia cinética ainda maior para se fundirem. Uma fusão de átomos como os de Urânio, por exemplo, é praticamente impossível não somente para ser reproduzida em laboratório mas de ser realizada até mesmo entre grandes estrelas de tamanha que seria a energia necessária para tal reação.

Apesar desta imensa dificuldade, a fusão nuclear não tem somente este exemplo do hidrogênio, existindo em outras estrelas (em geral maiores que o Sol) outras situações em que se formam elementos maiores que o hélio a partir da fusão de elementos um pouco mais pesados. Indo para além, a título de curiosidade para os alunos em sala pode-se dizer que todo elemento partiu originalmente de uma fusão nuclear que em algum momento ocorreu no universo e que portanto qualquer elemento teoricamente pode ser produzido a partir de uma fusão, basta ter a carga certa de energia. A hipótese de geração de elementos pesados artificialmente pela fusão, no entanto, é inimaginável e indiscutível até o momento e inclusive pode-se debater a partir desta impossibilidade a falta de alguns elementos no planeta e consequentemente seu alto valor comercial por conta de sua raridade. O próprio isótopo 235 do Urânio usado nas cadeias de fissão nuclear em usinas é extremamente raro (somente 0.7% do Urânio existente na Terra) e normalmente é encontrado junto de diversos outros isótopos de Urânio que não podem ser utilizados neste processo, necessitando de um procedimento prévio para sua utilização chamado de enriquecimento de urânio. Este enriquecimento nada mais é que a separação do Urânio 235 para sua utilização.

A partir de todo este estudo que pode ir de definição de radiação até as séries radioativas, a meia vida e a física probabilística desenvolve-se agora a proposta para sua terceira e última etapa, a aplicação. Onde discute-se sobre onde estão presentes no meio do aluno os conceitos estudados e porque a compreensão e utilização deles é importante para nossa sociedade.

## 5. Aplicação

Quando se comenta sobre radiação na prática ou sobre aplicações do estudo radioativo o pensamento primeiro de boa parte da população é associar logo a desastres e tragédias tais como os de Chernobyl, Hiroshima, Nagasaki, ou pensar logo em famosos nomes tais como o de Marie Curie. O estudo e o debate sobre estes desastres radioativos é importante para melhor entender-los por uma perspectiva científica, entender suas consequências e como afetaram nossa sociedade. Assim como estudarmos grandes cientistas e estudiosos da radiação é igualmente importante para além de compreender como afetam nossa sociedade, gerar uma representatividade e uma possível inspiração nos alunos. Todavia neste primeiro debate sobre aplicações radioativas o foco será não nos casos e exemplos populares mas naqueles ainda desconhecidos por boa parte do alunato.

Tal como o segundo momento pedagógico desta proposta, este começará com uma pesquisa em casa realizada pelos alunos. O objetivo é que se interessem pelo assunto e voltem à aula com novas informações, conhecimentos e principalmente questionamentos. Para tal, deve-se pedir que os alunos pesquisem em casa sobre aplicações ou tecnologias radioativas (ou nucleares) em âmbito nacional para na aula seguinte junto ao professor debater sobre estas. O objetivo desta pesquisa é, como antes mencionado, que o aluno busque novas informações e principalmente gere novos questionamentos, mas também, que ocorra uma aproximação cada vez maior entre o conteúdo e as vivências dos alunos. Para tal a pesquisa sobre tecnologias, práticas e casos em âmbito nacional.

Após esta pesquisa em casa, novamente em sala, uma estratégia para utilização desta é uma roda de conversa. Em que o professor pergunte a aplicação ou tecnologia de cada aluno e suas opiniões sobre ela agora com uma base científica mais sólida, possibilitando debates sobre cada aplicação, seus fatores e consequências e levando os alunos ao desenvolvimento de um posicionamento crítico científico nestas questões que são acima de tudo sociais.

O objetivo deste debate e pesquisa é voltar o conhecimento científico obtido pelos alunos para a prática social e possibilitar um diálogo utilizando o conhecimento científico como base para posicionamentos críticos em relação às notícias e práticas sociais pesquisadas. Utilizando a pedagogia histórico-crítica de Saviani podemos definir este momento como o de catarse, quando une-se ao conhecimento acadêmico os elementos sociais, transmutando estes conhecimentos teóricos e acadêmicos em elementos ativos sociais. “Este é, pois, o ponto culminante do processo pedagógico, quando ocorre a efetiva incorporação dos instrumentos culturais, transformados em elementos ativos de transformação social.” (Saviani, 2012, pg 12)

Outro importante fator que pode-se destacar desta prática de pesquisa e conversa é o interesse do alunato para com o conteúdo que pode ser radicalmente aumentado quando o próprio aluno percebe o conteúdo ensinado em alguma notícia ou prática social que desperta seu interesse. Ainda mais considerando que as consequências desta prática podem lhe afetar diretamente, considerando que são todas realizadas em seu país. Este debate gerado pelos alunos oportuniza um maior compreendimento de ciência como visão de mundo e fator social e ainda uma maior aproximação com o conteúdo disciplinar. Novamente utilizando a pedagogia de Salviani, o papel da escola e do educador é partindo de uma prática social do aluno não crítica e não embasada chegar a uma prática social crítica e embasada, e a mediação desta transformação é a partir do próprio conteúdo, no caso, científico. “Orientada por essas preocupações a pedagogia histórico-crítica procurou construir uma metodologia que, encarnando a natureza da educação como uma atividade mediadora no seio da prática social global, tem como ponto de partida e ponto de chegada a própria prática social. O trabalho pedagógico se configura, pois, como um processo de mediação que permite a passagem dos educandos de uma inserção acrítica e intencional no âmbito da sociedade a uma inserção crítica e intencional.” (Saviani, 2012, pg 9)

Destaca-se deste terceiro momento pedagógico a função do professor de a partir das prática sociais, tecnologias e aplicações pelos alunos escolhidas

desenvolver o debate até as práticas por ele preparadas. Partindo de sua própria coerência e julgamento, seu trabalho é de harmonizar o debate previamente preparado por ele com as inserções e novidades decorrentes das pesquisas do alunato. Desenvolvendo as discussões e questionamentos provenientes das pesquisas dos alunos, mas sem deixar de desenvolver os pensamentos críticos e os questionamentos que pretende gerar. Salviani define esse papel do professor como ao mesmo tempo técnico e artístico, tendo a dimensão técnica a partir das regras extrínsecas, o conteúdo programático, os objetivos da aula, seu preparo e as realizações pré-determinadas. Já a dimensão artística se refere às regras intrínsecas da educação e a originalidade e individualidade necessárias no ato de educar. Neste caso, os conceitos e conteúdos debatidos e a parte dos exemplos pelo professor escolhidas compõem a dimensão técnica da educação, no entanto, a forma como tais conceitos e conteúdos serão abordados, o desenvolvimento e o andar dos diálogos e principalmente a utilização dos exemplos e questionamentos trazidos e levantados pelos alunos compõem a dimensão artística da educação por dependerem da originalidade e das individualidades da sala.

Ora, no campo da educação nós encontramos ambas as dimensões. Pela dimensão técnica, é possível extrair dos enunciados e princípios da teoria da educação determinadas regras que devem ser seguidas na realização do ato educativo. Essa é a forma que se manifesta na composição dos programas escolares das diversas disciplinas nos quais se definem os objetivos a serem atingidos, os conteúdos a serem estudados e os procedimentos que serão adotados nas aulas dia-a-dia, semana-a-semana, mês-a-mês, ao logo de todo o período letivo a fim de viabilizar o estudo dos conteúdos e, assim, atingir os objetivos que justificam o ensino daquela disciplina.

No entanto, o trabalho educativo, além da dimensão técnica, contém, também, uma dimensão artística. Ou seja, a obra educativa se reveste de um alto grau de originalidade que dita ao educador determinadas regras de caráter intrínseco que, portanto, não são suscetíveis de serem compendiadas externamente para sua aplicação mecânica na realização

prática da tarefa educativa. Esse aspecto artístico que em condições normais convive com o aspecto técnico exigindo do professor que encontre a medida adequada de combinação das regras intrínsecas e extrínsecas na realização de sua tarefa, em determinados momentos pode se manifestar de forma mais saliente. (Salviani, 2012, pg 3)

## 5.1 Radiação no Brasil

Ainda sobre a roda de conversa proposta a partir das pesquisas dos alunos, o professor participará não somente mediando e auxiliando o desenvolvimento do debate mas inserindo também elementos e casos a serem discutidos. Para esta proposta foram escolhidas três aplicações sociais a serem pelo professor inseridas e conciliadas na discussão ou desenvolvidas caso algum aluno já as tenha inserido. As três aplicações propostas para o debate são o CNAAA (Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto), o acelerador de partículas Sirius e o projeto do submarino nuclear brasileiro SN-10.

### 5.1.1 Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto

O CNAAA (Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto) ou mais comumente conhecido como as usinas de Angra (Angra 1, Angra 2 e a ainda em construção Angra 3) é provavelmente a aplicação radioativa brasileira mais popular e conhecida entre os alunos, ainda mais considerando uma turma do estado do Rio de Janeiro. Portanto, é de presumível que um ou mais alunos cheguem a pesquisar sobre tal, o que não somente facilitará a introdução deste debate mas também auxiliará no seu desenvolvimento.

Antes de realizar um debate sobre a física por trás desta usina, válida-se uma explicação histórica da mesma. Seu projeto foi iniciado nos primeiros anos da ditadura militar, em 1968, sendo planejada a compra de um reator de urânio dos EUA para instalação da usina na região de Angra dos Reis. Vários cientistas e grupos sociais na época foram críticos a tal projeto tanto por avaliarem negativa a compra quanto pela oposição à própria energia nuclear em si. A oposição à energia nuclear em si era proveniente do medo da radiação que se originou a partir das grandes perdas humanas, sociais e ambientais que o mundo até então havia vivenciado por conta de tragédias como Chernobyl e as bombas atómicas. Já a oposição a compra era pela defesa de um investimento na tecnologia nacional e o ideal de produção de uma usina genuinamente brasileira. Todavia, logo no mesmo ano de 1968 surgiu o Ato Institucional n 5 (AI-5) que afogou as críticas prendendo, exilando ou repreendendo cientistas e ativistas que eram contrários ao projeto de Angra.

Em 1971 deu-se início ao projeto com a compra do reator americano, no entanto, este foi marcado por diversos erros e incidentes, inclusive consequentes da escolha inadequada do local, pois Angra dos Reis é uma região de falhas geográficas além de uma cidade sem uma estrutura de transportes adequada caso seja necessária uma retirada imediata. Além desse, diversas falhas humanas ocorreram e contradições do governo militar no momento, como o próprio custo que originalmente era de 10 bilhões para a construção de oito usinas e acabou ultrapassando os 36 bilhões na construção de somente duas. Por conta de todos estes contratemplos, somente após onze anos do início do projeto, em 1982 que foi inaugurada a usina de Angra 1. Angra 1 foi marcada por diversos problemas, reformas e interrupções até que em 1995 depois de inúmeros reparos teve seu desempenho e capacidade significativamente melhorados. Em 2001 foi inaugurada a usina de Angra 2 em uma parceria entre Brasil e Alemanha e oficialmente em 2010 iniciaram-se as obras de Angra 3, todavia, em 2015 estas foram interrompidas por suspeitas de corrupção e assim estão até hoje.

Partindo para o aspecto físico das usinas, essas como a maioria das usinas tem a intenção de produzir alguma forma de energia que seja de algum modo

transformada em energia cinética de movimento de turbinas. Sendo em sequência transformada em energia elétrica que será armazenada e distribuída para as cidades. No caso das usinas nucleares, sua fonte primeira de energia é a reação em cadeia de fissão nuclear que produzirá energia térmica suficiente para aquecer um recipiente de água que consequentemente irá evaporar e o vapor ao subir movimentará a turbina, por conta da utilização de energia na forma de calor, a usina nuclear é considerada uma usina térmica. Este é o princípio básico da usina, todavia, na prática para a água que é liberada na forma de vapor não ter contato direto com a radiação emitida na fissão nuclear, é utilizado um segundo recipiente de água que previne esta emissão de água contaminada. A reação em cadeia, portanto, emite energia para uma água altamente pressurizada para não evaporar mesmo em elevadas temperaturas, e esta água a altíssima temperatura e pressão aquece por contato indireto o outro recipiente de água agora a baixa pressão, que este sim evapora movimentando a turbina. Após passar pela turbina a água é condensada e volta ao recipiente para depois ser novamente aquecida retomando assim o ciclo. Por conta dessa utilização de água com pressão elevada estes reatores são chamados de PWR (pressurized water reactor ou reatores de água pressurizada). Abaixo segue um esquema didático deste ciclo que pode ser em sala mostrado para os alunos:

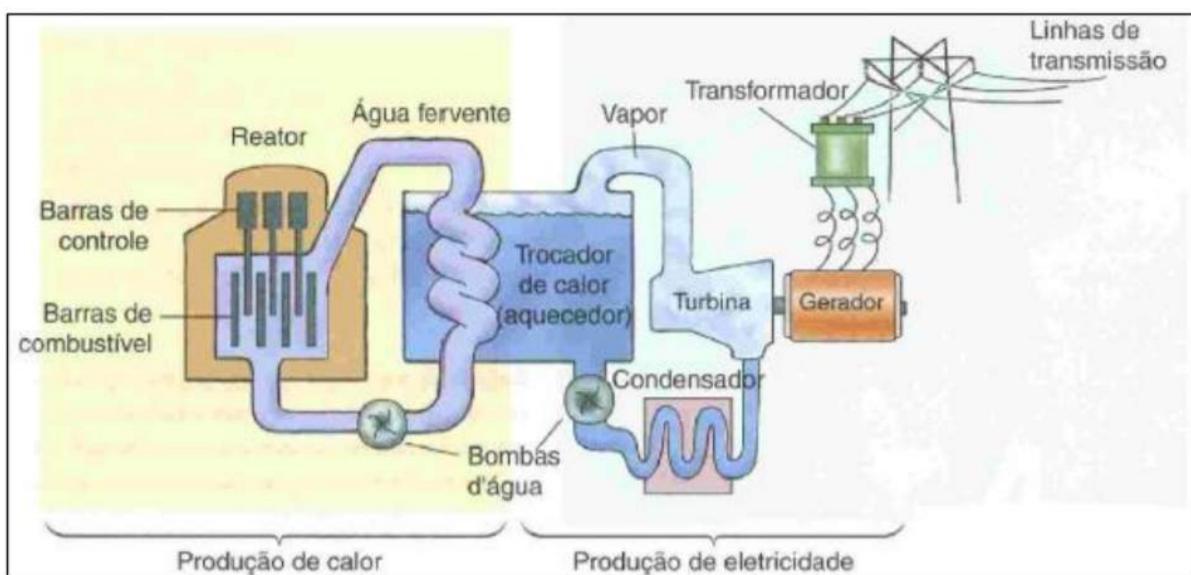


Imagen 3: Esquema de um reator nuclear

(Fonte: Cardoso, 2017 , pg 78)

Ainda na física da usina, um fator muito importante para sua instalação é a proximidade de rios, lagos ou do mar, pois a água desses é utilizada para resfriar os equipamentos e recipientes utilizados. Por conta desta necessidade, entre outros fatores, foi escolhida a cidade litorânea de Angra dos Reis para a instalação das indústrias.

Indo além da física, uma usina nuclear afeta completamente o meio a sua volta, mudando por completo as dinâmicas sociais de sua região. Entre os aspectos sociais que podem ser debatidos no caso de Angra em especial temos questões relacionadas ao turismo da região, as vivências dos moradores da cidade e ao lixo radioativo produzido. Em questão do turismo da região, esse é muito afetado por ao mesmo tempo um turismo científico que ocorre para conhecer, visitar e pesquisar sobre a usina e por uma queda do turismo de praias por conta do medo de parte da população nacional das usinas contaminarem as águas e praias da região, mesmo com a comprovação de que tal contaminação não é real e as praias são seguras.

Na vivência dos moradores, a usina também influencia de forma positiva e negativa. Em 2011, em meio a construção da usina Angra 3 foram entrevistados diversos moradores da região e suas opiniões quanto a construção da mesma foram extremamente divididas, muitos se posicionando favorável a construção e muitos outros de forma contrária. Utilizando como base as notícias homônimas “Riscos e benefícios de usinas dividem moradores de Angra” do jornal O Globo e da BBC Brasil vemos que entre os principais benefícios da usina para região estão a geração de emprego, a melhora da infraestrutura e o enriquecimento da região, entre os entrevistados, um comerciante local cita ‘Gera bastante emprego. Os únicos benefícios que a gente tem aqui são através da usina’. Todavia, pode-se questionar este enriquecimento da região por uma ótica da justiça social ao analisarmos a estrutura geopolítica da cidade sendo os bairros mais próximos da usina (Parque Mambucaba e Frade) alguns dos bairros também mais pobres da região. Além disso, percebe-se que a cidade sofre muito com falta de recursos básicos como saneamento e saúde pública e com fortes índices de desigualdade financeira e social levando a consequentes problemas com segurança pública, como cita um

morador de Parque Mambucaba 'A violência preocupa muito mais do que a gente estar vivendo perto de uma usina nuclear, uma unidade que nós acreditamos que seja muito segura'.

Entre os pontos mais utilizados para se contrariar a construção de Angra 3 estão o medo da população por não acreditarem na segurança da usina e nos planos de emergência, além da falta de estrutura de transporte caso seja necessária uma evacuação de urgência, principalmente nas regiões de Frade e Parque Mambucaba que são as mais próximas à usina. Somados a isto estão a desvalorização de alguns imóveis da região e a aflição por parte dos entrevistados com as sirenes e alarmes dos testes de rotina que ocorrem mensalmente. Por fim, um dos fatores mais decisivos para o questionamento das usinas é o lixo radioativo, isto é, os resíduos produzidos ao longo da fissão nuclear em cadeia que são extremamente radioativos e perigosos para a saúde humana e o ambiente, e que portanto requerem um cuidado excepcional.

Quanto a isso, não somente os moradores locais, mas diversas instituições ambientais e grupos sociais nacionais e internacionais se preocupam com a finalidade destes resíduos e aos cuidados e estruturas para proteção da população quanto à exposição a eles. Atualmente, o lixo radioativo é armazenado dentro do próprio CNAAA como explicam Nelson Leon Meldonia e Luís Antonio Terribile de Mattos "os rejeitos radioativos gerados não tem um local definitivo para a sua disposição, devendo permanecer armazenados nas instituições da CNEN e no sítio de Angra, até que se ache uma solução para este antigo problema" (Meldonia e Mattos, 2014, pg 4). Todavia, estes rejeitos radioativos tem um tempo de vida médio elevadíssimo e portanto vão se armazenando indefinidamente enquanto a usina estiver em funcionamento, logo, armazená-los dentro do próprio centro nuclear é uma solução com data de validade marcada. Possíveis respostas para este problema de armazenamento de lixo radioativo são estudadas diariamente não somente para a usina de Angra mas ao redor de todo globo, e a discussão sobre eles é de extrema importância para entender de fato os prós e contras da energia nuclear como um todo.

## 5.1.2 Sirius

Como foi mencionado no desenvolvimento teórico, não somente em usinas que se utilizam da fissão nuclear, mas ela é imprescindível também no âmbito da pesquisa e da inovação. Portanto, a segunda aplicação nacional de radiação que nesta proposta pretende-se discutir é o maior centro de pesquisas científicas do Brasil, o conjunto de aceleradores de partículas Sírius.

O Sirius é como acima mencionado, a maior obra de infraestrutura científica construída no país, sendo um conjunto de aceleradores de partículas responsáveis pela geração de luz síncrotron. Essa luz síncrotron é uma radiação eletromagnética que é gerada ao se curvar a trajetória de um elétron dentro de um acelerador de partículas e é importante pois funciona como uma espécie de microscópio que permite ao ser humano “enxergar” dimensões de ordem atômica abrangendo desde o infravermelho até os Raios X, como explica Vitor Acioly “A luz síncrotron é uma radiação eletromagnética intensa, colimada e de amplo espectro, que vai do infravermelho aos raios X, e que é gerada ao se curvar a trajetória dos elétrons nos aceleradores de partículas. Essa radiação pode ser usada como um supermicroscópio, sondando dimensões de ordem atômica” (Acioly, 2020, pg 2). Esta dimensão nos permite estudar diversos materiais, corpos e moléculas sendo portanto um dos principais centros de estudo de física, química e biológica do país e o Sírius em especial não é somente o maior acelerador de partículas do Brasil, mas o maior acelerador de partículas de luz síncrotron do Mundo e o único da América Latina. Atraindo portanto a atenção de diversos cientistas e pesquisadores do mundo para Campinas (SP) onde o Sirius está localizado.

A função deste centro transcende os estudos da física, sendo dividido em quatro grandes centros laboratoriais: o Laboratório Nacional de Luz síncrotron (LNLS), o Laboratório Nacional de Biociências (LNBio), o Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) e o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano). Tal espaço é portanto um ponto de encontro e interação entre diversas áreas do conhecimento científico, todas utilizando de alguma forma a radiação eletromagnética para seus estudos. Entre os estudos neste realizados destacam-se

as recentes pesquisas sobre o SARS-CoV-2, popularmente Coronavírus, onde a partir da luz síncrotron procura-se entender mais sobre sua estrutura e formas de prevenção e atuação contra a COVID - 19.

Fisicamente os aceleradores de partícula atuam, como o nome propõe, atribuindo uma imensa carga energética para partículas e consequentemente acelerando-as a altíssimas velocidades próximas à velocidade da luz (aproximadamente  $3 \cdot 10^8$  m/s) para assim estudar tais partículas nestas condições e estudar a colisão destas com outras partículas, corpos atômicos ou moleculares. Vale ressaltar que por esta definição, qualquer instrumento que acelere elétrons pode ser considerado um acelerador de partículas, assim como a própria televisão de nossas casas que a partir de campos elétricos e magnéticos acelera e direciona elétrons para formar as imagens que vimos. A partir destes aceleradores de partícula utilizados na pesquisa que conseguimos descobrir e dominar a fissão nuclear (energizando e colidindo núcleos de átomos pesados) e que descobrimos as antipartículas, colidindo partículas altamente energizadas com alvos que perdem no choque pares de partículas e antipartículas e separando por meio de campos magnéticos estas partículas das antipartículas.

Em geral, as partículas energizadas são elétrons, prótons ou fôtons e normalmente utilizam-se do acelerador como antes mencionado para estudar as colisões de partículas com outras partículas ou alvos. No entanto, o grande diferencial do Sírius neste caso é que este não estuda o choque entre partículas, mas utiliza-se da emissão de radiação eletromagnética que ocorre quando partículas eletricamente carregadas são desviadas dentro do acelerador. Ou seja, ele utiliza a luz que os elétrons emitem ao serem desviados, e esta é a luz síncrotron. Para desviar as partículas dentro do acelerador e obrigá-las a emitir esta radiação utiliza-se de campos magnéticos e a partir desta luz emitida pode-se realizar experimentos e pesquisas de diversas áreas observando corpos por uma dimensão atômica até então impossível de ser desta forma observada.

Além do aspecto físico do Sírius, a sua importância política é igualmente impressionante, pois a partir dele o Brasil é colocado como um dos países de

referência científica mundial. Por esse centro ser um dos maiores e mais avançados do mundo, diversos cientistas e organizações de todo o globo estudam e pesquisam o próprio Sírius e a sua tecnologia de ponta, elevando nesse sentido o Brasil a um destaque científico internacional. Todavia, apesar de todo destaque internacional, nacionalmente a valorização deste centro ainda é muito baixa pois boa parte da população em âmbito nacional não tem conhecimento nem da existência e muito menos do propósito e da importância deste centro tecnológico e científico. A partir desta falta pode-se gerar um debate entre o professor e os alunos sobre a pouca valorização da ciência e das tecnologias nacionais que são em grande maioria das vezes desconhecidas e não prestigiadas pela população em geral. Considerando inclusive o momento que vivemos no Brasil de negação da ciência e de políticas públicas anti científicas podemos compreender este descaso com as inovações tecnológicas nacionais e até mesmo relacionarmos os dois como uma via de mão dupla: quanto mais desvalorizada é a ciencia nacional, mais o negacionismo científico cresce e quanto mais este negacionismo científico cresce, mais desvalorizada é a ciência nacional.

Apesar deste cenário nacional desestimulante, existem estratégias e ações que podem ser realizadas pelos professores e alunos para frear esta bola de neve de descaso com a ciência. Entre elas as principais frentes são a divulgação científica e os projetos e movimentos sociais de valorização da ciência. Como já antes mencionado, a divulgação científica é de suma importância para não somente o aprendizado mas para a deselitização do conhecimento e para a valorização da ciência. E a divulgação não se realiza somente pelos cientistas e pela esfera pública, mas por toda população que por algum motivo veio a ter acesso a este conhecimento, principalmente professores e alunos que têm a possibilidade de propagar em seu meio e em sala o conhecimento. Além dessa propagação direta por interações sociais existem projetos e movimentos de valorização e divulgação da ciência, como a ESPEM (Escola Sírius para Professores do Ensino Médio) onde pesquisadores do Sírius divulgam suas pesquisas e o próprio acelerador para os professores de física, química e biologia do Ensino Médio. Para que estes possam divulgar em sala a ciência e tecnologia brasileira e para além a utilizarem em suas

explicações de forma a complementar o conteúdo e demonstrar a importância e o papel social deste em nossa sociedade e em especial em nosso país.

### **5.1.3 Submarino Nuclear Álvaro Alberto**

Desde 2012, existe um intenso projeto da construção do primeiro submarino nuclear brasileiro que recentemente está próximo de seu resultado final, o Submarino Nuclear Álvaro Alberto (SN 10). Antes de discutir o porquê de se construir um submarino nuclear, a física por trás dele e as práticas sociais que ele envolve, percebe-se que este é homônimo ao maior centro nuclear do Brasil e levanta-se a questão de quem foi Álvaro Alberto.

Álvaro Alberto da Mota e Silva foi um militar e cientista brasileiro, vice-almirante da marinha e ex-presidente da Academia Brasileira de Ciências (em 1935). Logo em 1910 tomou parte da Revolta da Chibata, o maior motim da história da marinha brasileira e para além, um enorme marco da luta contra o racismo no Brasil, onde marinheiros pretos se revoltaram contra o racismo explícito da instituição e as agressões físicas dos oficiais brancos (entre elas a chibata). Enquanto cresceu nas patentes da marinha, Álvaro estudou físico-química e a química dos explosivos, sendo marcado como um grande professor da escola naval e um histórico pesquisador. Se estendeu nesta carreira acadêmica fundando em 1922 a Sociedade Brasileira de Química, representando o Brasil na Comissão de Energia Atômica da ONU, criando o Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e criando o Programa Nuclear Brasileiro (PNB). Por seus importantes feitos e estudos quanto à radiação e a energia nuclear, tanto o maior centro nacional de energia nuclear quanto o primeiro submarino nuclear da marinha brasileira são em sua homenagem.

Voltando agora para o submarino em si, a ideia de um submarino nuclear ainda é nova para o mundo como um todo, sendo o Brasil o sexto país a conseguir dominar tal tecnologia. O grande diferencial de um Submarino movido a essa energia é o seu tempo no mar e consequentemente o alcance que este pode vir a ter sem a necessidade de subir. Até então, os submarinos brasileiros movidos a diesel

tem um limite de alcance consequente ao estoque de combustível e um limite do tempo abaixo da água pela necessidade de oxigênio que é necessário na queima do diesel. No entanto, utilizando-se da energia proveniente de cadeias de fissões nucleares tais limites são praticamente desconsideráveis, por conta do pouco espaço ocupado pelos materiais utilizados, da enorme quantidade energética liberada em cada processo de reação em cadeia e pelo processo de geração de energia por reações nucleares dispensar a necessidade de oxigênio. Inicialmente a motivação para a criação desta tecnologia é proteção e soberania militar, porém, a partir do domínio de tal poderá utilizar-se deste maior alcance para pesquisas e estudos científicos. Ressalta-se também que apesar de sua proposição militar, o SN 10 não terá sala de mísseis, como explica Luiz Padilha: O SNB Álvaro Alberto (SN 10) não terá a sala de mísseis, devendo o nosso SNB, no que tange a armamento, seguir a linha do SBr classe Riachuelo, ou seja, haverá muita similaridade com o armamento do projeto atual em andamento. (Padilha L. Submarino Nuclear Brasileiro, Site da Defesa Aérea e Naval).

Quanto a física por trás do submarino pode-se proporcionar diversos debates de hidrostática, pressão, empuxo e equilíbrio mecânico, no entanto, no que tange ao estudo de radiação neste novo submarino iremos nos limitar ao estudo do seu movimento e geração de energia. O processo de geração é análogo ao da usina de Angra, sendo também um PWR mas em menor escala, logo, também existe um reator nuclear e dois recipientes de água, um de água altamente pressurizada que entra em contato com a radiação e outro de água a baixa pressão que entra em contato com a água irradiada e evapora movimentando a turbina. A grande diferença é que a energia decorrente da movimentação da turbina não será transportada e distribuída, mas será armazenada e parte se transformará em energia elétrica para ser utilizada no próprio navio e parte se transformará em energia cinética das hélices que movimentarão o submarino na horizontal (o movimento vertical parte da discussão hidrostática antes mencionada). Um esquema deste reator e um esquema do próprio submarino em si estão dispostos a seguir:

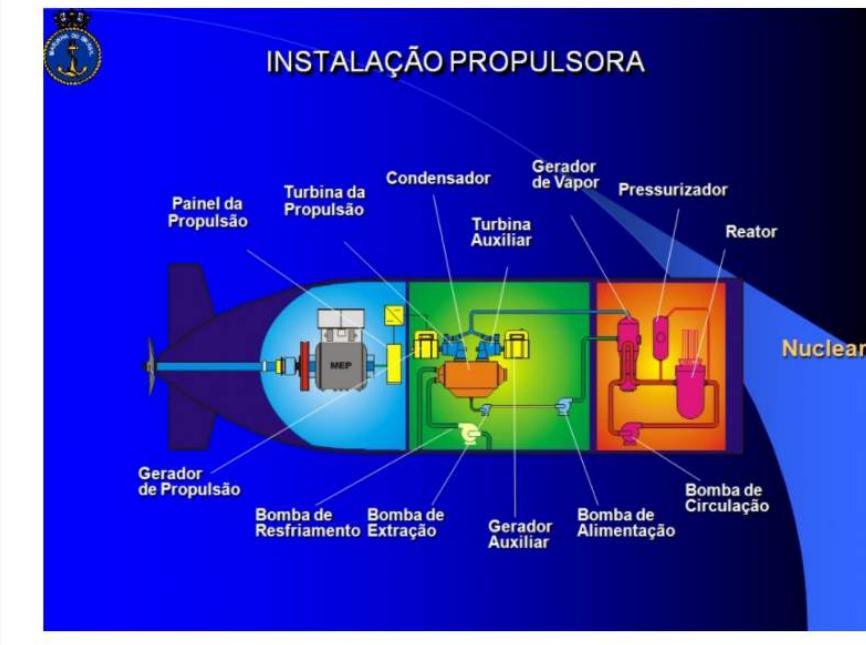


Imagen 4: Instalação propulsora do submarino nuclear

(Fonte: Padilha, L. Submarino Nuclear Brasileiro 'Alvaro Alberto' (SN 10). Defesa Aérea & Naval.)

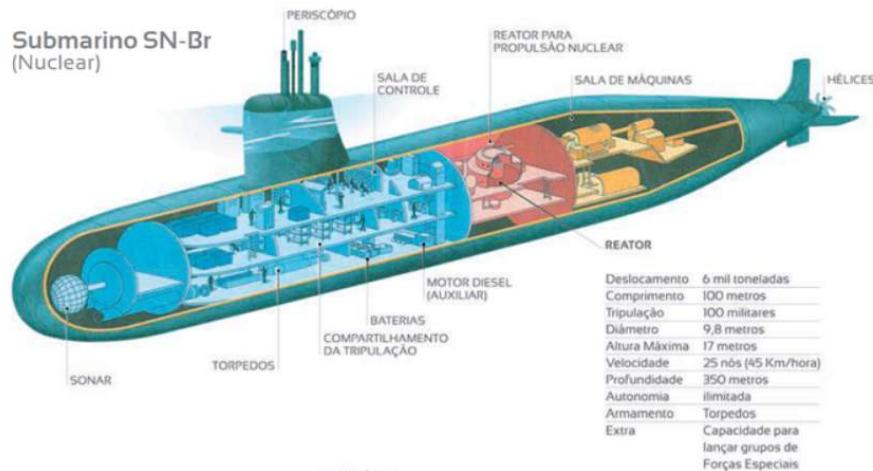


Imagen: Esquema do submarino nuclear SN-10

(Fonte: Submarino Nuclear. Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo. Programa Nuclear da Marinha.)

O SN 10, para além de uma importante tecnologia militar, é um marco para a ciência nacional, pois tal como o Sirius, destaca mundialmente o Brasil no âmbito de produção científica e tecnológica. Apesar deste destaque internacional, ratifica-se que este desenvolvimento não é em muito valorizado pela própria população brasileira e tão pouco pela organização pública nacional atual que tem retirado verbas e almejado sucatear as instituições e centros de pesquisa científica do país. Existe um projeto de sucateamento e privatização destes órgãos públicos de pesquisa e laboratórios além de um projeto de desvalorização dos cientistas e pesquisadores nacionais tanto culturalmente quanto financeiramente. Essas crises projetadas ficam cada vez mais visíveis tanto com a retirada de verbas das pesquisa e laboratórios das universidades quanto pelo desmerecimento e depreciação de estudos científicos e científicos nacionais feito por grupos políticos e sociais. O Brasil é um país de destaque mundial na produção científica e tecnológica com cientistas de relevância histórica como César Lattes e Álvaro Alberto, porém, o projeto político social anti científico e a cultura de negação da ciência assombram o Brasil. Consequentemente, se realça a importância da luta social de estudantes e professores em defesa destes órgãos nacionais e públicos de produção, divulgação e democratização científica e tecnológica, a partir da divulgação científica, do posicionamento individual, de movimentações sociais e de um pensamento questionador, crítico a partir de uma perspectiva de mundo científica.

## 5.2 Radiação na saúde

Após essa roda de conversa sobre as aplicações nucleares no Brasil, volta-se às questões inicialmente debatidas como um processo de volta às práticas sociais inspirado na pedagogia histórico-crítica de Saviani. No entanto, agora após o desenvolvimento do conteúdo esta volta é embasada na teoria estudada e as falas e posicionamentos serão desenvolvidos a partir de uma perspectiva e análise científica por parte dos alunos. Para destacar aos alunos a importância do estudo do conteúdo científico e ressaltar a melhora e evolução deles quanto a este conhecimento, volta-se para exatamente o mesmo debate desta proposta pedagógica: A radiação faz bem ou mal a saúde?

Pode-se concluir, então, que, pela mediação do trabalho pedagógico, a compreensão e a vivência da prática social passam por uma alteração qualitativa, o que nos permite observar que a prática social no ponto de partida da relação educativa (primeiro passo) em confronto com a prática social no ponto de chegada (quinto passo) é e não é a mesma. É a mesma porque é ela própria que constitui ao mesmo tempo o suporte e o contexto, o pressuposto e o alvo, o fundamento e a finalidade da prática pedagógica. E não é a mesma, se considerarmos que o modo de nos situarmos em seu interior se alterou qualitativamente pela mediação da ação pedagógica. E uma vez que somos, enquanto agentes sociais, elementos objetivamente constitutivos da prática social, é lícito concluir que a própria prática se alterou qualitativamente. (Salviani, 2012, pg 12)

Não necessariamente a volta à prática social deve ser realizada pelo mesmo debate e temática que originalmente foi discutido no primeiro momento pedagógico. No entanto, nada impede também a reutilização deste tema, ainda mais, como acima destacado, para a percepção por parte dos alunos da evolução da turma e da própria evolução em posicionamento e percepção científica. Este avanço e melhoria não quer dizer necessariamente uma troca de lado, mudar aquilo que defende, mas uma solidificação e fundamentação dos posicionamentos de cada aluno individualmente e consequentemente da turma coletivamente, independente das posições defendidas serem ou não as mesmas que anteriormente.

Assim como no primeiro momento, este debate será desenvolvido principalmente pelos alunos tendo o professor uma função mais de mediador do que de participante na conversa. No entanto, neste momento final existem pontos e discussões que não podem deixar de existir sobre o tema e portanto se torna mais presente uma possível intervenção do professor para encaminhar o debate para estes importantes tópicos caso se faça necessário. Estes principais tópicos podem ser divididos em três grandes grupos que em geral dividem as ideias e posicionamentos dos alunos, da população e da sociedade de uma forma geral

quanto a relação entre radiação e saúde, sendo estes grupos: Os riscos que a radiação pode causar, as aplicações da radiação na medicina e as inovações tecnológicas que afetam essa relação.

A primeira discussão, sobre os riscos da radiação para a saúde humana foi introduzida no desenvolvimento teórico desta proposta, e como foi neste momento mencionada, é uma discussão interdisciplinar. Ou seja, ultrapassa os limites do estudo físico e abrange temáticas e conhecimentos de outras áreas tais quais a biologia, portanto, caso seja possível e de interesse do professor este debate poderia ser ainda mais desenvolvido e feito em conjunto junto ao professor de biologia. Como antes já comentado, existem radiações ionizantes e não ionizantes, sendo as ionizantes que têm energia suficiente para remover elétrons dos átomos, criando então os íons. Como consequência biológica da formação de íons internos no corpo humano pode ocorrer a desestruturação ou a modificação de células que pode acarretar a doenças como os cânceres. Pela definição do próprio INCA (Instituto Nacional do Câncer) cânceres são doenças causadas pela proliferação inapropriada de células em geral de alguma forma modificadas. “Câncer é um termo que abrange mais de 100 diferentes tipos de doenças malignas que têm em comum o crescimento desordenado de células, que podem invadir tecidos adjacentes ou órgãos a distância. Dividindo-se rapidamente, estas células tendem a ser muito agressivas e incontroláveis, determinando a formação de tumores, que podem espalhar-se para outras regiões do corpo.” (INCA, O que é o Câncer, 2020) A relação da radiação com este tipo de doença é por conta das radiações ionizantes impulsionarem a formação e mutação das células, consequentemente aumentando a probabilidade de surgimento de uma célula cancerígena.

A exposição à radiação ionizante é preocupante portanto à saúde humana, no entanto, o nível de preocupação depende da dose radioativa que o ser humano recebeu. No início do desenvolvimento teórico, quando foi estudada a definição de radiação mostrou-se uma tabela com doses radioativas de certas atividades, estas doses que definirão o risco do indivíduo de contrair alguma doença e portanto, todo contato com altas doses de radiação ionizante deve ser realizado com a devida proteção e cuidados. Ainda mais em contatos periódicos, como no caso do médico

radiologista. Para proteção e cuidados primeiramente é necessário o entendimento da fonte radioativa para entender que tipo de radiação ela emite (alfa, beta ou gama) e consequentemente que material deverá ser usado como barreira.

Além disso, deve-se compreender as doses que a fonte emite e a forma de contato, se é uma irradiação ou uma contaminação. Como anteriormente foi estudado, um corpo é irradiado quando recebe emissões radioativas e é contaminado quando entra em contato direto com um corpo radioativo podendo este mesmo emitir radiação e virar uma fonte. “É fundamental, para fins de proteção radiológica, que seja feita a diferenciação dos conceitos de irradiação e de contaminação para situações envolvendo o uso de fontes emissoras de radiação ionizante. Esta diferenciação determina ações de proteção radiológica distintas.” (Suelen Cardoso, 2017, pg 83). Outros fatores que precisam ser levados em conta são o tempo da exposição da pessoa a radiação e a distância que esta estava da fonte, sendo estes determinantes das doses radioativas recebidas. Ressalta-se que não existe uma regra para o nível de radiação ionizante que levará o indivíduo a produzir e permitir a multiplicação de células cancerígenas, este evento depende de uma série de fatores pessoais como predisposição genética da pessoa, idade, condição física, entre outros. “A interação da radiação com o corpo humano não implica, necessariamente, que algum dano será provocado, visto que o nosso organismo apresenta o eficiente mecanismo da reversibilidade, responsável pelo reparo das células. O efeito biológico é influenciado pela idade, sexo e condição física, desta forma, pessoas que receberam a mesma dose podem não apresentar o mesmo dano” (Suelen Cardoso, 2017, pg 85)

Por fim, quanto aos riscos da radiação para a saúde humana, destaca-se quais são as fontes de radiação ionizante que costumam causar câncer e quem são os indivíduos com mais risco. Para tal, divide-se em fontes naturais e artificiais, sendo a natural de maior risco o gás o radônio que encontra-se em locais fechados e quando inalado tem grandes chances de levar a um câncer de pulmão. Já as maiores fontes artificiais são aparelhos médicos e usinas nucleares, que apesar da grande emissão radioativa tem seus riscos calculados e controlados sempre em defesa dos profissionais que com eles entram em contato que nunca se aproximam das

mesmas sem a devida proteção. Estas principais fontes são confirmadas novamente pelo INCA: “Em relação à exposição às radiações por fontes naturais, o radônio merece destaque. Trata-se de um gás natural, sem cheiro, cor ou sabor, que tende a se concentrar em ambientes fechados como minas subterrâneas, residências ou locais de trabalho. Uma vez inalado, o radônio é depositado no trato respiratório e está associado ao câncer de pulmão (...) Fontes não naturais, ou produzidas pelo homem, de radiações ionizantes são comumente encontradas nos cuidados em saúde (raios-x, tomografia computadorizada e radioterapia) e na geração de energia (usinas nucleares).”

Sobre esta informação em especial pode-se discutir a situação dos mineiros que em geral são indivíduos de baixa renda que normalmente não usufruem dos mesmos cuidados e proteções de médicos e engenheiros nucleares ao entrar em contato com fontes radioativas. Gesiele Veríssimo em seu artigo “Mortalidade de mineiros brasileiros por câncer entre 1979–2005” quantifica esta realidade assustadora afirmando que o câncer de pulmão é responsável por 22,5% das mortes de mineiros no Brasil entre 1979 e 2005 e o câncer de estômago por 16,8% das mortes. Somando tais dados aos baixos índices de escolaridade e baixos salários dos mineiros em relação ao resto da população pode-se debater as claras injustiças e desigualdades sociais sofridas por certas profissões e grupos sociais no Brasil e até a desvalorização da própria vida dos mineiros percebendo uma desigualdade na própria proteção a vida de brasileiros dependendo da sua profissão e classe social.

Quanto às aplicações médicas da radiação, essas são de extrema importância, tendo já salvado diversas vidas ao longo dos anos. A revolução medicinal consequente da utilização de raios-x, da tomografia e da radioterapia é de valor imensurável e ao mesmo tempo que a radiação pode potencializar a aparição de um câncer ela é em diversos casos a única forma de se tratar e curar as pessoas de tal doença. Além do mais, não somente estes tratamentos se utilizam de radiação mas a esterilização de objetos e maquinários médicos em muitos casos utilizam-se da radiação, principalmente em situações onde precisa-se garantir a total eliminação de qualquer vida microscópica. E para além, os exames diagnósticos de imagens se utilizam em sua totalidade de radiofármacos, Nelson Leon Meldonian afirma essa

importância “Quantificar os beneficiados nas aplicações médicas e industriais, ao contrário, é quase que impossível. Se de uma certa maneira sabemos quantos pacientes se submeteram à radiação, no tratamento de doenças, e quantos se valeram de diagnósticos que utilizam radiofármacos; não temos como quantificar com precisão, os beneficiados com a esterilização de produtos; radiografias industriais, etc.”.

A partir destas práticas médicas fica clara a essencialidade de aplicações radioativas para a saúde humana e para além, se torna impossível uma avaliação concreta de radiação como algo somente positivo ou somente negativo para a saúde. Continuamente, a procura por algum “saldo” positivo ou negativo somando os benefícios e malefícios da radiação também torna-se inválida, considerando a infinitude de variáveis imensuráveis e ainda mais entendendo exemplos como a radiação solar que ao mesmo tempo que é fundamental para a existência e continuidade da vida humana, também é uma das fontes radioativas que causam o câncer (no caso de pele). Portanto, torna-se interessante uma mudança da perspectiva do debate e de sua função, almejando não mais classificar a radiação como boa ou ruim para a saúde, mas discutindo a necessidade de se evoluírem as práticas de proteção radioativa e a importância de investimento em novas tecnologias e formas de melhor utilizar a radiação no meio médico.

Quanto à proteção de radiação uma necessária conversa é sobre os mineradores e suas condições de trabalho. Como antes já mencionado os trabalhadores de minas tem comumente exposições diretas a gases radioativos que levam a inúmeros casos de câncer de pulmão e estômago entre estes trabalhadores. Outro importante fator é que existem materiais de proteção e regulamentações que protegem e asseguram a saúde de outros profissionais que entram em contato com fontes radioativas, tais como médicos e engenheiros nucleares. Tal discussão pode ser somada a um debate sobre justiça social relacionando esta falta de cuidados para com a vida dos minadores com as desigualdades sociais por eles enfrentadas.

Para bem finalizar esta relação entre radiação e saúde destacam-se as inovações científicas e tecnológicas que estão no momento sendo estudadas e evoluídas e a importância do investimento nas mesmas. Dentre estas importantes pesquisas temos os estudos realizados no Sírius sobre COVID-19, vírus este que marcou não só a ciência mas toda a sociedade no último ano redefinindo as práticas sociais e marcando o período histórico que vivemos. Outra pesquisa de destaque é sobre a utilização de raios gama, em especial sobre a radioterapia. Os raios gama são ionizantes e portanto sua exposição em altos níveis é altamente perigosa à saúde humana, no entanto, eles também têm um elevado poder de penetração e podem ser direcionados, sendo uma alternativa para o tratamento de câncer menos agressivo ao corpo que a quimioterapia. Os raios gama já são utilizados para o tratamento de alguns cânceres locais, porém a pesquisa e o avanço nesta tecnologia podem possibilitar uma utilização deste muito mais ampla e menos perigosa à saúde humana. Citando o instituto Oncologia: “Atualmente, 60% dos pacientes com tumores realizam radioterapia, isoladamente ou em combinação com outras opções terapêuticas, como cirurgia e quimioterapia. (...) A radioterapia utiliza de radiações ionizantes para destruir ou inibir o crescimento das células anormais que formam um tumor. (...) O tratamento radioterápico é realizado num serviço de radioterapia de uma clínica ou hospital. Entretanto, nem todos os hospitais contam com esse serviço, porque os equipamentos de radioterapia são muito complexos” (Oncologia, o que é a radioterapia?, 2014). O avanço dos estudos pode não somente diversificar e ampliar a radioterapia mas também barateá-la permitindo uma democratização do acesso de hospitais (e consequentemente também pacientes) a esta importante tecnologia de combate ao câncer.

## 5.3 Radiação e o meio ambiente

Prosseguindo na temática de saúde e radiação um aspecto extremamente necessário para se entender é a relação da mesma com o meio ambiente. Que não somente influencia na saúde humana mas em diversas outras áreas da vivência humana, ainda mais considerando que uma perspectiva ambiental não é somente um estudo ou uma visão da natureza originária, mas de toda relação do homem com

aquilo que o cerca. Ou seja, ao debatermos sobre meio ambiente, não analisamos somente as florestas, campos, marés e rios, mas toda relação do ser humano com o seu meio social e físico, como o ser humano interfere nestas áreas e em todas as que têm contato, inclusive a cidade, e para além, como o ser humano se relaciona com a vida presente nestas áreas independente de qual seja. Logo, a própria interação entre humano e humano em uma cidade é um aspecto ambiental, como afirma Layarargues “Torna-se não só possível como necessária a incorporação das questões culturais, individuais e subjetivas que emergem com as transformações das sociedades contemporâneas, a ressignificação da noção de política, a politização da vida cotidiana e da esfera privada, expressas nos novos movimentos sociais e na gênese do próprio ambientalismo.” (Layarargues, 2014, pg 33)

Portanto, prosseguindo no debate e levando em consideração a relação intrínseca entre a saúde de um indivíduo e seu meio, principalmente analisando as doenças e mortes causadas por desastres e problemas ambientais, pode-se extrapolar a temática de saúde e radiação para analisarmos a relação direta entre meio ambiente e aplicações da radiação. Ressalta-se que a avaliação e estudo é de aplicações de tecnologias humanas radioativas pois tal como no debate sobre saúde, a própria natureza e humanidade depende da radiação natural para sua existência e continuação, sendo portanto o debate sobre radiação artificial e aplicações utilizadas pelo ser humano para diversos fins. Seguindo então, propõe-se uma divisão análoga ao debate da relação entre saúde e radiação, todavia, agora dividindo entre benefícios e malefícios das aplicações radioativas para o meio ambiente e as inovações tecnológicas e científicas que podem alterar esta relação.

Ao se discutir os benefícios das aplicações da radiação ao meio ambiente destaca-se de imediato a energia nuclear. Acima de tudo é uma energia eficiente que não emite poluentes e apesar de ser uma fonte não renovável, por sua alta emissão de energia não apresenta tanta carência de minérios escassos como a termoelétrica de combustíveis fósseis. Não pode-se afirmar que a energia nuclear é uma fonte limpa de energia, pois apesar de não produzir poluentes esta necessita de urânio e logo não é renovável (fontes de energia limpa são fontes renováveis que não produzem poluentes). No entanto, suas interferências ambientais são muito

baixas sendo necessário além do urânio somente o espaço da usina e o maquinário necessário, ao contrário de hidroelétricas por exemplo, que necessitam de um alagamento e destruição de toda uma região normalmente florestal. Outro grande diferencial, como comentado, é sua eficiência e independência de fatores externos na produção, pois apesar de energias como solar e eólica serem consideradas as mais “limpas” em quesito de menos impactos ambientais, a produção de energia através delas é muito baixa e dependem de fatores naturais inconstantes como os níveis de raios do Sol e o vento. Por tal motivo, tais energias não podem ser únicas para o abastecimento de, por exemplo, uma cidade sem contar que mesmo sendo as menores interferências estas ainda interferem ambientalmente com seu material e degradação de espaço para implementação. Tais pontos não querem dizer que a energia nuclear é superior a todas as outras em quesito de proteção ao meio ambiente e tão pouco que deve-se gerar 100% da energia a partir de usinas nucleares, mas ressaltam o valor ambiental e os pontos positivos da aplicação da mesma.

A questão desta discussão não é enaltecer a energia nuclear em detrimento das outras formas de obtenção e nem ignorar seus impactos ambientais. Mas entender suas interações com o ambiente e entender como ela passou de uma das fontes mais críticas para uma das mais defendidas por estudiosos ambientalistas. Um documentário importantíssimo para entender este movimento é a Promessa de Pandora (Pandora's Promise) de Roberto Stone, onde este dialoga com diversos ambientalistas, ativistas e pesquisadores que sempre foram contrários a energia nuclear e compreenderam sua importância ambiental passando a defendê-la. Tal documentário é uma importante recomendação para os alunos, não somente para entenderem a energia nuclear mas como funcionam e se estruturaram os movimentos ambientais e a importância dos mesmos. A partir desta mudança de paradigma pode-se questionar não somente a validação ou não da energia nuclear como alternativa mas também a própria formação de um posicionamento e a importância de uma perspectiva científica crítica a todo momento. Negações do conhecimento científico não ocorrem somente por políticos e grupos sociais que se posicionam abertamente contrários à ciência e defendem a não esfericidade da Terra ou a não

vacinação, mas diariamente em diversas situações sociais onde individualmente nós acabamos negando a ciência ou não analisando cientificamente situações antes de nos posicionarmos quanto a elas. Tal discussão novamente ressalta a importância de se combater o negacionismo científico em todas as instâncias e situações sociais, a importância de uma divulgação científica democratizadora e de uma visão de mundo crítica científica. Posicionar-se cientificamente não é necessariamente ser contrário ou a favor da energia nuclear, mas analisar a partir de conceitos científicos as relações desta com o meio ambiente.

Quanto às consequências negativas das aplicações nucleares ao meio ambiente temos como principais as escavações necessárias para obtenção de urânio e os resíduos radioativos. Como mencionado, a energia nuclear depende da mineração do urânio, que acaba obrigatoriamente deformando algum espaço natural e reduzindo cada vez mais as reservas de uraninita ( $UO_2 + U_3O_8$ ) no mundo. No entanto, esta interferência não afeta igualmente todas as camadas da sociedade e regiões do globo, tendo uma clara diferenciação entre que regiões são destruídas para obtenção deste minério e que regiões e populações se utilizam e beneficiam desta energia. Um grande exemplo são as maiores reservas de uraninita do mundo que se localizam nas minas de Leopoldville, no Congo. O urânio extraído desta região produz energia para diversos países como França e Alemanha, no entanto, o próprio Congo não se utiliza desta energia por falta de estrutura e capital para produção ou compra das tecnologias necessárias. Destaca-se ainda que as populações em torno das grandes minas de urânio tendem a ser populações de baixa renda e muitas vezes sofrerem de miséria extrema apesar de sua proximidade a metais e minérios tão valiosos. Não somente em minas de urânio que percebe-se tal injustiça social e não somente no Congo, sendo esta comum a diversos países e populações, a procura por Cobalto, por exemplo, também no Congo e em diversos países da África destrói inúmeras regiões todo ano enriquecendo países já ricos e impactando negativamente o ambiente e a população vizinha a estas minas. Esta discussão de extração portanto, não somente natural mas social, relacionando a justiça social como um tópico também ambientalista tal como já mencionado.

Outro grande problema também decorrente de aplicações nucleares é a produção de resíduos radioativos que tem que ser armazenados com o máximo de segurança possível para não contaminar nenhum ser humano ou ecossistema. Estes são produzidos a cada reação em cadeia e vão se acumulando; portanto, ao passar do tempo, seu despejo vem sendo cada vez mais uma notória preocupação da humanidade. Tais impactos ambientais (tanto o lixo quanto a mineração) se ressaltam na geração de energia nuclear, por ser a maior aplicação de radiação no momento e a maior utilização de urânio. Logo, mesmo sendo uma das energias mais defendidas na atualidade por vários estudiosos e pesquisadores ambientalistas, esta ainda tem seus impactos que necessitam de ser levados em conta e analisados. Uma das estratégias que tem ganhado força na atualidade é a utilização de fontes mistas de energia para a redução dos impactos individualmente e em uma só esfera do ambiente. A utilização de diferentes fontes de energia torna-se uma forte alternativa para tentativa de redução dos problemas ambientais contemporâneos, como a utilização de painéis solares para o aquecimento de água em casa, a utilização de energia eólica em regiões próximas de grandes ventos e a utilização de energia nuclear em cidades.

Por fim, além de se discutirem as problemáticas e benefícios ambientais decorrentes das aplicações radioativas, um ponto interessante para se adicionar aos debates são as inovações e como elas podem interferir em tal cenário. Dentre estas temos estudos sobre a redução, utilização e especialmente tratamento dos rejeitos radioativos. Pesquisa esta realizada em diversos centros laboratoriais, sendo a USP (Universidade de São Paulo) um deles e que dependendo dos resultados poderá minimizar e até por um fim ao problema da geração de lixo radioativo na produção de energia nuclear. No caso da USP a pesquisa tem obtido grandes resultados almejando o tratamento de lixo radioativo utilizando cascas de arroz e de café, possibilitando assim a redução dos rejeitos radioativos a partir de materiais de baixo custo.

Outra inovação que pode-se destacar é a utilização de radiação ionizante para quebra de gases que destroem a camada de ozônio, pesquisada inclusive pela UFRJ. Como explica o próprio Ministério do Meio Ambiente "O ozônio (O<sub>3</sub>) é um dos

gases que compõem a atmosfera e cerca de 90% de suas moléculas se concentram entre 20 e 35 km de altitude, região denominada Camada de Ozônio. Sua importância está no fato de ser o único gás que filtra a radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), nociva aos seres vivos.” (MMA, A camada de ozônio, retirado em 20/8/2021). A nocividade dos raios UV está ligado a seu potencial ionizante, sendo os raios UV solares os principais responsáveis pelo câncer de pele como já mencionado anteriormente. A grande questão da camada de ozônio é que o ser humano emite gases clorofluorcarbonos (CFCs) em diversas ocasiões industriais ou urbanas e estes destroem tal camada pois os gases vão reagindo e quebrando as moléculas de ozônio. Como consequência, pesquisadores de diversos laboratórios têm estudado como desfazer tais gases e entre essas pesquisas uma que merece destaque é a de quebra dos CFCs a partir da emissão de radiações ionizantes, que interagindo com eles desestruturaria os CFCs antes que os mesmos cheguem à altura atmosférica do ozônio. Aplicações como esta podem impedir ou ao menos reduzir drasticamente um dos maiores problemas ambientais da humanidade, mas para tal estudo ter resultados conclusivos é necessária ainda muita pesquisa, estudo e principalmente muito apoio público e da população a estes cientistas e seu trabalho.

## 5.4 Tragédias nucleares

Quando estuda-se e comprehende-se a radiação e suas aplicações percebe-se que a visão comumente retratada da radiação encontra-se errada em diversos pontos e que a população de uma forma geral tem uma ideia do que é radiação muito distante da realidade. Portanto, ao final desta proposta pedagógica um interessante processo é entender os motivos e causas desta compreensão errada e desse medo da radiação; analisando a partir de meios de comunicação e opiniões públicas percebe-se uma relação direta entre este medo e as tragédias nucleares. Os eventos relacionados a radiação mais marcantes da humanidade até o momento e consequentemente mais difundidos e comentados foram as tragédias nucleares, e a partir delas que a população de uma forma geral se embasou para construir sua ideia e posicionamento quanto a radiação. Portanto, para compreender este medo

precisamos compreender e discutir tais tragédias. Para bem debatê-las divide-se em dois grupos que se distinguem quanto à intencionalidade do acontecimento sendo estes os *ataques nucleares* e os *acidentes nucleares*.

### **5.4.1 Ataques nucleares**

Ao adentrar-se no assunto de ataques nucleares o primeiro a ser lembrado é sempre o bombardeio de Hiroshima e Nagasaki por ser não somente o maior ataque nuclear da história mas também o maior atentado contra a própria vida humana até os dias de hoje. As bombas Little boy e Fat Man foram lançadas nos dias 6 e 9 de agosto de 1945 contra as cidades de Hiroshima e Nagasaki, acabando com a vida de mais de 200.000 pessoas, entre adultos, crianças, homens e mulheres. Cerca de metade das mortes ocorreu instantaneamente, outras aproximadas 100.000 foram ao longo dos meses seguintes por conta de queimaduras, lesões ou envenenamento radioativo. Não é à toa que até hoje esta tragédia é a maior lembrança da maioria da população quando se pensa em radioatividade ou energia nuclear e o principal motivo para o medo comum da radiação que assola nossa sociedade.

Apesar da distância entre Brasil e Japão e da limitação dos meios de comunicação da época, mesmo aqui se sentiram as dores desta grande tragédia afetando completamente a visão que o brasileiro passava a ter da radiação e da energia nuclear assim como do resto do mundo. Culturalmente e socialmente a bomba atômica e consequentemente a radioatividade em geral viraram símbolos de dor e destruição, um importante exemplo desse efeito é a música de Gerson Conrad / Vinicius De Moraes originalmente interpretada por Ney Matogrosso A rosa de Hiroshima que fala sobre este infeliz acontecimento e pode não somente ser compartilhada mas também analisada com os alunos.

## Rosa de Hiroshima

Pensem nas crianças, mudas, telepáticas

Pensem nas meninas, cegas, inexatas

Pensem nas mulheres, rotas alteradas

Pensem nas feridas, como rosas cálidas

Mas, oh, não se esqueçam da rosa, da rosa

Da rosa de Hiroshima, a rosa hereditária

A rosa radioativa, estúpida e inválida

A rosa com cirrose, a anti-rosa atômica

Sem cor, sem perfume, sem rosa, sem nada

(Gerson Conrad / Vinicius De Moraes)

A partir não somente desta canção mas também de todo conhecimento geral deste caso e analisando o posicionamento comum da população entende-se o porquê do receio geral com aquilo que é radioativo. Partindo para a física por trás da bomba esta muito se assemelha a dos reatores nucleares, no entanto, as reações de fissão nuclear são feitas de forma livre e em altíssima quantidade gerando uma carga energética tremenda nunca antes produzida pela humanidade, sendo a primeira feita de isótopos de urânio e a segunda de isótopos de plutônio. A produção destas só foi possível por conta das descobertas físicas realizadas por Albert Einstein pouco tempo antes como a formulação da equivalência massa-energia, Einstein inclusive junto do físico Nuclear Leó Szilárd mandou em 1939 uma carta para o então presidente dos Estados Unidos Franklin D. Roosevelt avisando da possibilidade de produção de uma bomba nuclear e alertando para o perigo da Alemanha estar produzindo uma, sugerindo aos EUA que produzissem a sua. A partir desta carta, começou o Projeto Marshall que deu origem às duas bombas atómicas. Após a conclusão brutal deste projeto Einstein se mostrou amargamente arrependido de ter de alguma forma contribuído para esta tragédia, em suas palavras: Eu cometi o grande erro na minha vida quando assinei a carta para o presidente Roosevelt recomendando a bomba atômica que ele fez (Albert Einstein

para Linus Pauling, 1954, tradução livre). A seguir segue um trecho retirado e traduzido de sua carta de 1939.

No curso dos últimos quatro meses foi-se provado — pelo trabalho de Joliot na França assim como o de Fermi e Szilard na América — que pode ser possível provocar uma cadeia de reações nucleares numa grande massa de urânio, no qual grandes quantidades de poder e um novo tipo de radiatividade seriam geradas. Agora parece quase certo que isso poderá ser atingido num futuro próximo.

Esse novo fenômeno poderia ser usado na construção de bombas, e é concebível — apesar de haver muita pouca certeza — que bombas extremamente poderosas poderiam assim ser construídas. Uma única bomba desse tipo, levada por um barco e detonada num porto poderia muito bem destruir todo o porto e alguma parte da sua área adjacente. Contudo, tais bombas podem muito bem acabar por serem muito pesadas para o transporte aéreo. (Carta Einstein–Szilárd)

Complementando historicamente, após este horrendo ataque o mundo passou pela Guerra Fria entre EUA e URSS, onde ambas as nações montaram alianças e se armaram cada vez mais para uma possível guerra. Com este investimento das duas maiores potências mundiais da época em armamento pesado inclusive atômico, a população em geral que temia a radiação passou a cada vez temer mais e mais, apoiada na ideia de que a qualquer momento poderia começar uma nova guerra com ainda mais armas e mortes. A corrida armamentista foi marcada por armamentos nucleares tanto dos Estados Unidos quanto da União Soviética de potencial destrutivo inigualável. E ainda hoje, após a queda da URSS diversos países utilizam-se do poderio bélico atômico para realizar ameaças internacionais e intimidar povos e países.

Partindo de toda esta tragédia, que é consequência de um importante avanço científico, avalia-se as propensões do desenvolvimento, e a partir disso gera-se questionamentos e debates sobre posicionamento e neutralidade da ciência. Neste estudo é sempre destacada a valorização da ciência, a importância de uma

divulgação e acessibilidade à ciência e a necessidade de um pensamento científico, todavia, mesmo com todo este destaque em nenhum momento a ciência é exaltada como imparcial, impessoal, neutra e acima de questões políticas ou sociais. A ciência, como já mencionado, é uma parte integrante da sociedade, e portanto influenciada e moldada por esta sociedade, suas culturas e particularidades. A ciência não é imparcial e tão pouco é o desenvolvimento tecnológico e consequentemente esta não é sempre perfeita e não está acima dos outros saberes. Em nossa sociedade existe uma cultura de cientificismo, uma filosofia positivista que declama a superioridade da ciência sobre todas as outras formas de saberes e compreensões humanas da realidade, no entanto, percebe-se que a ciência é integrante da sociedade e não superior a ela, portanto, ao estudarmos a ciência é sempre necessária a procura por uma perspectiva crítica.

Analizar criticamente a ciência ou quebrar os mitos do cientificismo e da neutralidade da ciência não é uma desvalorização da ciência. De forma completamente oposta, a ciência faz parte de nossa sociedade e para a bem entendermos precisamos entender seu contexto social, histórico e cultural e questioná-la sempre. Quebrar o mito de uma ciência praticamente divina, imutável e intangível é inclusive uma necessidade para os que querem estudá-la e seguir a carreira científica e transformá-la. O conhecimento científico é feito por seres humanos políticos, parciais e sociais, assim esta é encorpada de posicionamentos, cultura e até mesmo falhas e portanto necessita de um constante estudo e aprimoração de si mesma. Aceitar a humanidade na ciência é ao mesmo tempo perceber a importância dela para nós e a importância de continuarmos a desenvolvê-la como sociedade e humanidade.

Grandes exemplos desta perspectiva crítica científica foram os órgãos, movimentos e organizações nacionais e internacionais que surgiram como consequência do ataque atômico estadunidense em prol da proibição de armas nucleares e em defesa da vida humana e do meio ambiente. Tais grupos formados por cientistas, pesquisadores e ativistas a partir de uma análise crítica da ciência se posicionaram contrários a desenvolvimentos tecnológicos que consideram maléficos para a sociedade sem negá-los ou desvalorizarem o conhecimento científico. Se posicionam a partir do entendimento do processo de criação científica como um

processo social e consequentemente influenciado por fatores humanos. Assim questionam, se manifestam e lutam por seus posicionamentos, analisando a situação do armamento nuclear por uma ótica científica, crítica, ambiental e humana.

## 5.4.2 Acidentes nucleares

Apesar da não intencionalidade, tragédias nucleares acidentais também marcaram a história humana e a perspectiva que a sociedade tem da energia nuclear. Dentre estes desastres o mais conhecido e divulgado é o acidente de Chernobyl, onde durante testes de proteção na usina nuclear V de Chernobyl (25 de abril de 1986) no reator quatro houve um pico repentino de energia e uma consequente ruptura no vaso do reator levando a uma série de explosões de vapor acompanhadas de incêndios que contaminaram radioativamente a atmosfera de uma imensa área geográfica. Apesar do pequeno número de mortes inicialmente (31 pessoas) o acidente foi direta ou indiretamente responsável pela morte de uma vasta população europeia passando a fronteira da cidade de Pripyat e até mesmo a fronteira nacional, contaminando pessoas para além da região da Ucrânia, sendo o número total de mortes diretas ou por contaminação pela estimativa da ONU variante entre 9000 e 16000 pessoas ao longo da Europa. Este desastre não somente foi responsável pela morte destas milhares de pessoas, mas também pela destruição ambiental, econômica e social da região sendo esta até hoje isolada e inabitável. Por consequência também desta calamidade, o medo da energia nuclear que já havia se instaurado pelas bombas atômicas expandiu-se e a população compreendeu que a energia nuclear e a atividade radioativa podem dizimar uma população não somente quando existe uma intenção desta letalidade.

Importantes destaques e cuidados que deve-se ter ao analisar este caso são que a energia nuclear necessita de sérios cuidados e medidas preventivas para garantir a proteção e que ocorreu um desleixo e falta de preocupação com estes por parte dos órgãos públicos Ucranianos da época, sendo o próprio teste um erro que não deveria ter ocorrido naquele momento e o funcionamento do reator um descuido. Além disso, outro destaque que deve-se ter é que passado quase meio

século deste acidente a humanidade e os órgãos públicos têm estados muito mais cuidados e precavidos quanto a energia nuclear por influência inclusive deste próprio acidente e os reatores incomparavelmente mais avançados em quesitos de tecnologia e segurança humana. Sendo uma calamidade dessas tal como ocorreu em Chernobyl um risco praticamente inexistente considerando os reatores atuais. Todavia, não somente o acidente de Chernobyl marcou a humanidade, entre os outros acidentes radiológicos históricos que assolaram a raça humana temos o acidente com césio-137 que ocorreu logo no ano seguinte, desta vez no Brasil.

Em 13 de setembro de 1987, no ano seguinte ao acidente de Chernobyl, o Brasil enfrentava o maior acidente radiológico da sua história, o Acidente radiológico de Goiânia. Em 13 de setembro deste ano, catadores de um ferro-velho encontraram em uma clínica abandonada um aparelho de radioterapias e desmontaram-no para vender as peças. Ao realizarem o desmonte no ferro velho encontraram um pó com um bonito brilho azulado que desconheciam, este era o sal cloreto de césio-13, uma substância radioativa de alta periculosidade. No entanto, sem tal conhecimento da substância, Devair Ferreira, dono do ferro velho, levou o pó para casa contaminando sua mulher e filha de seis anos, e depois distribuiu entre amigos e famílias espalhando assim a perigosa substância por toda cidade de Goiânia. Este trágico incidente não somente é o maior acidente radiológico do Brasil mas o maior acidente radioativo fora de uma usina do mundo, tendo afetado mais de 1600 pessoas. Dentre estas, quatro faleceram em poucos dias por terem tido maior contato e ingerido a substância, sendo estes a mulher, a filha e os dois empregados de Devair que encontraram e abriram o aparelho de radioterapia. E outras 104 pessoas morreram posteriormente por decorrência da contaminação, inclusive o próprio Devair Ferreira entre elas, que faleceu sete anos após o incidente.

Entre as causas que levaram as marcas históricas deste acidente temos em primeiro a falta de cuidados e displicência da empresa médica que abandonou criminalmente o maquinário radioativo sem o descarte apropriado, mesmo sabendo de seu potencial catastrófico. Destaca-se que os técnicos e responsáveis locais obrigatoriamente tinham conhecimento da correta maneira de se descartar tal aparelho e tinham conhecimento de seu perigo à saúde, no entanto, acabaram por

negligenciar tais conhecimentos ao abandonar o aparelho sem avaliar as possibilidades de contaminação. Para além, destaca-se a demora na detecção da causa dos problemas de saúde, pois quando os expostos começaram a adoecer os médicos locais consideraram ser alguma doença contagiosa desconhecida e procuraram tratar como tal. E como principal causa deste acidente se alastrar e tomar as proporções que tomou temos a falta de acesso à informação e ao conteúdo científico da população de uma forma geral. O acidente ocorreu e se alastrou pois tanto Devair Ferreira quanto seus amigos e familiares não tiveram acesso ao conhecimento científico dos perigos de uma contaminação radioativa e tão pouco do funcionamento básico de uma máquina de radiografia. O incidente é portanto tido como consequência não só da negligência do hospital que abandonou o aparelho, mas também da negligência pública de um Estado que abandonou sua população sem o acesso ao conhecimento científico necessário.

Destaca-se deste trágico caso que a divulgação científica e a democratização do conhecimento são questões de justiça social e até mesmo de saúde pública. Como anteriormente mencionado, o acesso ao conhecimento científico precisa ser democratizado e não somente o estudo das fórmulas e conceitos mas também o entendimento das práticas sociais marcadas por estes conhecimentos e as aplicações dele para a vida humana. Questões como o porquê de utilizarmos protetores solares, ou como identificar e proteger-se de materiais radioativos ou até mesmo maneiras de se prevenir de um câncer são questões de saúde pública e consequentemente de justiça social e dependem da acessibilidade ao saber científico. O intuito deste estudo e desta proposta pedagógica não é uma defesa das aplicações radioativas e nem a sua demonização; mas a valorização de um posicionamento científico e crítico quanto a elas que busque sempre uma justiça social e ambiental, buscando entender o verdadeiro significado do que são tais aplicações e o que é a radiação. Para além, esta proposta também destaca a necessidade de uma divulgação e democratização da ciência e de seu acesso expondo não somente o conhecimento científico mas suas aplicações e a necessidade de uma luta em defesa da mesma. O aluno não deve a partir deste estudo e proposta ser inclinado a defender um posicionamento arbitrário, mas deve saber a importância de uma visão científica ao se posicionar e o valor de seus posicionamentos e de suas lutas

## 6. Considerações finais

A partir deste estudo afirma-se a possibilidade de um processo de ensino-aprendizagem de física das radiações que seja transformador e libertador para os alunos. Que ao contrário do ensino tradicional, busque sempre uma conciliação entre o conteúdo ensinado e as convivências do alunato, demonstrando sempre a eles não somente a importância do conhecimento científico mas também a importância da luta pela divulgação e democratização desse conhecimento.

Ressalta-se que é levada em conta nesta proposta a dificuldade que é para um professor mudar atualmente o formato e a estrutura de sua aula por diversos fatores, independente de seu cenário escolar. Enquanto diversas escolas enfrentam dificuldades de acesso a materiais, destacando a falta de laboratórios e materiais para experimentos. Outras muitas vezes tem tais materiais ou ao menos a capacidade financeira da compra dos mesmos, mas nessas comumente existe uma pressão da própria escola e dos pais de obrigatoriedade de condução da aula a partir de uma linha tradicional e voltada ao vestibular. No mais, em comum a ambas estão a desvalorização financeira do profissional da educação e a falta de incentivo ao estudo continuado e a capacitações, levando o professor sem tempo nem energia para produção de novas aulas e sem espaço muitas vezes para a aplicação das mesmas a muitas vezes continuar seguindo o mesmo modelo de aula clássica, tradicional e expositiva.

Apesar da triste realidade no cenário da educação brasileira, este estudo procura contornar a situação sendo uma via com exemplos práticos e ideias para aplicações em aula que não necessitem de rebuscados materiais e que não deixem de lado o conteúdo programático tradicional. Cabendo ao professor que a utilize da melhor forma adaptando-a ao espaço de sua turma e de sua escola, sabendo da realidade dos seus alunos e de seus compromissos com a proposta ideológica e pedagógica de sua escola. Sendo portanto este estudo não um formulário, mas um esqueleto de uma aula de radiação transformadora somado a diversas ideias e exemplos que podem em aula ser utilizados para trazer ao estudo debates sobre

divulgação científica, ambientalismo, negacionismo científico, cientificismo e justiça social.

Independente do formato da aula e da utilização ou não da estruturação proposta neste estudo, de forma crítica resalta-se a importância de uma mudança no formato e na condução das aulas de física e de ciências de uma forma geral no ensino médio brasileiro. Os empecilhos que dificultam o professor nesta mudança são inúmeros, no entanto, também são incontáveis as estratégias que o professor pode realizar para aos poucos transformar o ensino em sua sala e da mesma maneira é imensurável a necessidade de transformar-se a sala de aula em algo mais atrativo e aplicável ao aluno. É inquestionável a crise educacional que vivemos, ainda mais com os projetos de desvalorização e descapitalização da ciência e educação na esfera federal, porém, ainda neste momento de crise existem estratégias e práticas que podem ser utilizadas para contornar esta estrutura tradicional da educação e aos poucos de forma gradual ir renovando o espaço da sala de aula para um espaço de ensino-aprendizagem prazeroso e interessante ao aluno.

Não somente procura-se estimular o interesse dos alunos nesta proposta mas também estimular outros debates para além da ciência, almejando sempre um ensino com enfoque CTSA ou seja, que veja a ciência como um fator social e a relate sempre com o resto da sociedade em que esta se encontra. Um ensino que desenvolva importantes debates sobre questões sociais e mostre ao aluno o valor de seus posicionamentos, suas ações, e de suas lutas, ao mesmo tempo não deixando de lado ou diminuindo a necessidade do conteúdo científico. Esta proposta de ciência crítica e social não abrange somente debates sociais e conteúdos científicos separadamente, mas unifica-os mostrando o conteúdo científico à luz de um debate social e o debate social analisado por uma ótica científica, reforçando o aspecto social da ciência e a perspectiva científica da sociedade.

Por fim, conclui-se a importância e a possibilidade de um processo de ensino-aprendizagem alternativo, social, libertador e transformador da ciência, voltado para o aluno, suas vivências e individualidades. Exaltando o grande pensador e professor brasileiro Paulo Freire no centenário de seu nascimento e inspirando-se em suas teorias e seus ideais de uma aula crítica e libertadora

adaptando-a ao cenário das aulas de ciências do ensino médio término este estudo parafraseando-o utilizando-me de uma de suas mais consagradas e icônicas falas, dirigida no Simpósio Internacional para a Alfabetização, no Irã, em 1975, e posteriormente reproduzida em sua histórica obra a História das Ideias Pedagógicas: “não basta saber ler mecanicamente que ‘Eva viu a uva’. É necessário compreender qual a posição que Eva ocupa no seu contexto social, quem trabalha para produzir uvas e quem lucra com esse trabalho.

# Referências Bibliográficas

A Camada de Ozônio. Ministério do meio ambiente. Clima. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/a-camada-de-ozonio.html>. Acesso em: 08 de setembro, 2021.

Acioly, V.; Picoreti, R.; Rocha, T.C.R.; Azevedo, G. M.; Santos, A.C.F. A luz sincrotron iluminando a formação de professores. *A Física na Escola*, v. 18, n. 2, 2020.

Aikenhead, G.S. Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science. *Studies in Science Education*. vol. 27. pp. 1-52. 1996.

Araújo F. Energia Nuclear. Física Comentada. 19 de janeiro, 2012. Brasil. Disponível em: [http://fisicacomentada.blogspot.com/2012/01/energia-nuclear\\_19.html](http://fisicacomentada.blogspot.com/2012/01/energia-nuclear_19.html) Acesso em 08 de setembro, 2021.

Araújo R. S; Santos G. M. O; Barbosa G. C. S; Jesus A. C. B; Brito D. M. S; Menezes M. P. A. F; Silveira W. S; Ribeiro T. N. Aplicando propostas estruturadas de ensino investigativo com enfoque CTS em novos contextos. *Revista Ciências & Ideias*. Rio de Janeiro, RJ. V9, N.3 2018.

Article paru dans «The Philadelphia Bulletin», le 13 mai 1955, concernant la position d'Albert Einstein sur le pacifisme. BAR E 2200.267, 1982/159, vol. 1, réf.: G.90. 1962.

Auler, D.; Dalmolin, A.M.T.; Fenalti, V.S. Abordagem Temática: natureza dos temas em Freire e no enfoque CTS. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*. v.2, n.1, p.67-84. 2009.

Bueno, P. H. T. Panorama Geral das perdas e desperdícios de alimentos e soluções para o acesso a alimentação. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas. Patos de Minas, MG. 2019.

Cardoso, E.M. Apostila Educativa Radioatividade. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Rio de Janeiro. Disponível em: [https://portalnuclear.cnen.gov.br/Material\\_didatico/apostilas/radio.pdf](https://portalnuclear.cnen.gov.br/Material_didatico/apostilas/radio.pdf) Acesso em 08 de setembro, 2021.

Cardoso, S.P. Física das radiações: Um enfoque CTS para alunos do ensino médio da área industrial. Dissertação Mestrado Profissional em Ensino de Física. Instituto de Física. UFRJ. Rio de Janeiro. 2017.

CEDES – Centro de Estudos e Debates Estratégicos. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Perdas e desperdício de alimentos – estratégias para redução. Série de cadernos de trabalhos e debates 3. Brasília, DF, pág. 260, 2018.

Damasio, F.; Tavares A. *Perdendo o medo da radioatividade: Pelo menos o medo de entendê-la*. Autores Associados. Campinas, SP. 2017.

Delizoicov D. Ensino de Física e a concepção freireana da educação. Revista Brasileira de Ensino de Física. RBEF. **Vol. 5 n. 2**. pg 85. 1983.

Delizoicov D.; Gehlen S. T.; Ibraim S. Centenário Paulo Freire: Contribuições do Ideário Freireano para a Educação em Ciência. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. RBPEC. **Vol 21**. pg 1-6. 2021.

Delizoicov D.; Gehlen S. T.; Maldaner O. A. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências. Ciência & Educação. Rio de Janeiro, RJ. **v. 18, n. 1**. p. 1-22. 2012.

DERMEVAL SAVIANI | A pedagogia histórico-crítica. Leituras Brasileiras. Youtube. 14 de agosto, 2017. 21:01. Disponível em:  
<https://www.youtube.com/watch?v=13ojrNgMChk&t=880s> Acesso em 08 de setembro, 2021.

DIAS, Diogo Lopes. "O que é meia-vida?"; Brasil Escola. Disponível em:  
<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-meia-vida.htm>. Acesso em 17 de setembro de 2021.

Fabri, A. A evolução do pensamento ambientalista desde suas origens até a proposta contemporânea da sustentabilidade. Anais Eletrônicos do 14 Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. Belo Horizonte, Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 2014.

Freire, P. *Pedagogia do oprimido*. 17ª ed. Editora Paz e Terra. Rio de Janeiro. 1968.

Freitas, A.B. O Ensino interdisciplinar de pilhas e radioatividade no âmbito da educação ambiental. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás. Regional Jataí. UFG. 2017.

Filho, J.R.M. O projeto do Submarino Nuclear Brasileiro. Contexto Internacional. **vol. 33, n. 2**. 2011.

Gasparin, J. L.; Petenucci M. C. Pedagogia histórico crítica: Da teoria à prática no contexto escolar. Pedagogia ao Pé da Letra, 2012. Disponível em:

<<https://pedagogiaaopedaletra.com/pedagogia-historico-critica-da-teoria-a-pratica-no-contexto-escolar-de-joao-luiz-gasparin-e-maria-cristina-petenucci/>>. Acesso em: 8 de setembro de 2021.

Gramsci, A. *Cadernos do Cárcere Vol 3*. Era editora. Tradução Civilização Brasileira. 1999.

Gutstein, E. Teaching and Learning Mathematics for Social Justice in an Urban, Latino School. *Journal for Research in Mathematics Education*. **vol. 34, n 1**, pg 37–73. 2003.

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS | #Irradiando06. Canal Irradiação. Youtube. 9 de julho, 2020. 10:55. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=aszy9P15zZM> Acesso em 08 de setembro, 2021.

Kolasi, E. *The Physics of Capitalism*. Monthly Review. 2018.

Kuramoto, R. Y. R.; Appoloni, C. R. Uma breve história da política nuclear brasileira. *Cad. Brás. Ens. Fís.*, **v. 19, n.3**. p.379-392. 2002.

Lacerda, G. Alfabetização científica e formação profissional. *Educação & Sociedade*, **v. XVIII, n 60**. 1997.

Layrargues, P.P.; Lima G.F.C. As macrotendências político-pedagógicas da educação ambiental brasileira. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo. **v. XVII, n. 1** p. 23-40. 2014.

Lenin, V. I. *As três fontes e as três partes constitutivas do marxismo*. São Paulo. Global Editora, 1913.

Lira J.C.L. Reação em Cadeia. Infoescola. Química. Brasil. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/reacao-em-cadeia/> Acesso em 08 de setembro, 2021.

Lixo tóxico vindo dos EUA é barrado em porto de SC. *Exame*. 12 de setembro, 2013. Tecnologia. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/lixo-toxico-vindo-dos-eua-e-barrado-em-porto-de-sc/> Acesso em: 08 de setembro, 2021.

Meldonian, N. L.; Mattos, L. A. T. Rejeitos radioativos gerados na usina de Angra 1 e na produção de radioisótopos para finalidades médico-industriais. Grupo de Energia e Ambiente. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP.

Montedo, P.S.G.; Marinelli, J.R. Do Ensino de Física à Democratização do Debate Nuclear. XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. XII ENPEC. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2019.

Moura, C. B. O Ensino de Ciências e a Justiça Social – questões para o debate. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, **v. 36, n. 1**, p. 1-7. 2019.

Muenchen, C.; Delizoicov D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. Ciênc. Educ., Bauru, **v. 20, n. 3**, p. 617-638. 2014.

Novaes F.P. Radiações Ionizantes. ICTP South American Institute for Fundamental Research (ICTP-SAIFR, [ictp-saifr.org](http://ictp-saifr.org)). São Paulo. Disponível em: <http://outreach.ictp-saifr.org/ensino-medio/traducoes-para-sala-de-aula/> Acesso: 08 de setembro, 2021.

Oliveira, F.F.; Vianna, D.M.; Gerbassi, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. Revista Brasileira de Ensino de Física. **v. 29, n. 3**, p. 447-454. 2007.

Oliveira, F.F. O ensino de física moderna com enfoque CTS: Uma proposta metodológica para o ensino médio usando o tópico Raios X. Dissertação Mestrado Profissional em Ensino de Física. Instituto de Física. UFRJ. Rio de Janeiro. 2016.

Padilha, L. Submarino Nuclear Brasileiro ‘Alvaro Alberto’ (SN 10). Defesa Aérea & Naval. Ciência e Tecnologia. 07 de dezembro, 2012. Brasil. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/ciencia-e-tecnologia/submarino-nuclear-brasileiro-alvaro-alberto-sn-10> Acesso em 08 de setembro, 2021.

Países pobres são destino 'de 80% do lixo eletrônico de nações ricas'. BBC Brasil. 18 de janeiro, 2013. Brasil. Disponível em: [https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/01/130118\\_lixo\\_eletronico\\_bg](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/01/130118_lixo_eletronico_bg). Acesso em: 08 de setembro, 2021.

Pedagogia Histórico-Crítica - Uma teoria de Demerval Saviani. Vinicius Dominiquini. Youtube. 22 de novembro, 2019. 7:05. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gCujISVZJrc>. Acesso em 08 de setembro, 2021.

Pinheiro, N.A.M.; Silveira, R.M.C.F.; Bazzo, W.A. Ciência, tecnologia e Sociedade: A relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. Ciência & Educação, **v. 13, n. 1**, p. 71-84, 2007.

Prestes, M.; Cappelletto. E. Aprendizagem significativa no ensino de física das radiações: Contribuições da educação ambiental. *Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.* v. **20**. 2008.

Riscos e benefícios de usinas dividem moradores de Angra. BBC Brasil. 26 de abril, 2011. Brasil. Disponível em:  
[https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/04/110421\\_angra\\_video\\_texto\\_jc](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/04/110421_angra_video_texto_jc)  
Acesso em: 08 de setembro, 2021.

Riscos e benefícios de usinas dividem moradores de Angra. Globo. 26 de abril, 2011. Brasil. Disponível em:  
<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/04/riscos-e-beneficios-de-usinas-dividem-moradores-de-angra.html> Acesso em: 08 de setembro, 2021.

Sales, V; Vianna, D. Uma proposta para o ensino de hidrostática através de atividades investigativas com enfoque C-T-S. *Física em Revista*. **Vol. 1**, N1. 2007.

Santos, W.L.P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. *Ciência & Ensino*, **vol. 1**. 2007.

Rodrigues, C.F.M. Irreversibilidade e degradação da energia numa abordagem para ensino médio. Dissertação Mestrado Profissional em Ensino de Física. Instituto de Física. UFRJ. Rio de Janeiro. 2014.

Santos, W.L.P.; Mortimer, E.F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*. **Vol. 2, n. 2**. 2002.

Sasseron, L.H.; Carvalho, A.M.P. Alfabetização científica: Uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*. v.**16**. p. 59-77. 2011.

Sasseron, L.H.; Machado, V. F. *Alfabetização Científica na Prática: Inovando a Forma de Ensinar Física*. Editora Livraria da Física. 2017.

Saviani, D. Formação de professores no Brasil: Dilemas e Perspectivas. *Poiesis Pedagógica*. **V.9, N.1**. 2011.

Saviani, D. Origem e desenvolvimento da pedagogia histórico-crítica. *Pedagogia histórico-crítica: 30 anos*. 1ed. Campinas. **vol 1**. pg 197 - 225. 2011.

Saviani, D. *Pedagogia histórico-crítica: Primeiras aproximações*. Editora Autores Associados Ltda. 2018.

Silva, F.L.; Pessanha, P.R.; Bouhid R. Abordagem do tema controverso: Radioatividade/Energia Nuclear em sala de aula no Ensino Médio – Um Estudo de Caso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ), Instituto de Educação Carmela Dutra (IECD- SEEDUC). 20111.

Submarino Nuclear. Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo. Programa Nuclear da Marinha. São Paulo. Brasil. Disponível em:  
<https://www.marinha.mil.br/ctmsp/submarino-nuclear> Acesso em 08 de setembro, 2021.

Tavares R. Aprendizagem Significativa. Revista Conceitos. João Pessoa, PB. Vol 10. pg 65. 2004.

Teixeira, P.M.M. A educação científica sob a perspectiva da pedagogia histórico-crítica e do movimento C.T.S. no ensino de ciências. Ciência & Educação. v. 9, n. 2. p. 177-190. 2003.

Valente J.A. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. Educar em Revista. Curitiba, Brasil. n. 4, p. 79-97. 2014

Veríssimo, G.; Mendonça, R.; Meyer, A. Mortalidade de mineiros brasileiros por câncer entre 1979-2005. Cad. Saúde Colet. Rio de Janeiro. 2013.

Vianna, D.M. Do fazer ao ensinar ciências. Dissertação do Doutorado Profissional em Ensino de Física. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo. SP. 1998.

Vianna, D.M. Temas para o ensino de Física com enfoque CTS. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF. São Paulo, SP. 2013.

Vilela, M.L.; Selles, S. E. É possível uma Educação em Ciências crítica em tempos de negacionismo científico? Caderno Brasileiro do Ensino de Física. v. 37, n. 3 p. 1722 - 1747. 2020.

Zesean, M. Ali, Varik, H. Harris, and Rebecca L. LaLonde. Beyond Green Chemistry: Teaching Social Justice in Organic Chemistry. Journal of Chemical Education. 2020.

# **Tabela de siglas**

BBC - British Broadcasting Corporation

CEDES - Centro de Estudos Educação e Sociedade

CFCs - Clorofluorcarbonetos

CNAAA - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto

CNEM - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CTS - Ciência, Tecnologia e Sociedade

CTSA - Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

ESPEM - Escola Sirios para Professores do Ensino Médio

ICTP - International Centre for Theoretical Physics

INCA - Instituto Nacional de Câncer

LNBr - Laboratório Nacional de Biorrenováveis

LNBio - Laboratório Nacional de Biociências

LNLS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

LNNano - Laboratório Nacional de Nanotecnologia

MMA - Ministério do Meio Ambiente

ONG - Organização Não Governamental

ONU - Organização das Nações Unidas

PNB - Programa Nuclear Brasileiro

PWR - Pressurized Water Reactor

SAIFR - South American Institute for Fundamental Research

SN-10 - Submarino Nuclear 10

SNB - Submarino Nuclear Brasileiro

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

USP - Universidade de São Paulo

UV - Ultravioleta