

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO: LICENCIATURA EM FÍSICA**

FILIPPE CORSINO BORGES

**A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES: UMA
REFLEXÃO A PARTIR DA CONCEPÇÃO DE ESTUDANTES DE UMA
ESCOLA DE ENSINO MÉDIO DE PALMAS-TO**

PALMAS, 2019



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO: LICENCIATURA EM FÍSICA**

FILIPE CORSINO BORGES

**A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES: UMA
REFLEXÃO A PARTIR DA CONCEPÇÃO DE ESTUDANTES DE UMA
ESCOLA DE ENSINO MÉDIO DE PALMAS-TO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para obtenção
do Título de Licenciatura do Curso de
Graduação em Física do Instituto Federal do
Tocantins, Campus Palmas.**

Orientador: Prof. Me. Ademar Paulo Junior

PALMAS, 2019

***"Talvez não cheguei aonde planejei ir.
Mas cheguei, sem querer, aonde meu coração
queria chegar, sem que eu o soubesse"***
Rubem Alves.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pelo amor que derrama sobre todos nós.

À minha querida e amada família, em especial aos meus pais Seir Alves Borges e Luciana Leite Corsino, pela paciência das minhas ausências e pelo cuidado atribuído a mim. À minha esposa Mariana Bernardes que agradeço por estar ao meu lado sempre que precisei, por partilhar comigo todos os momentos de alegria, me apoiar e dar forças nos momentos de tristeza.

Aos meus dignos professores e preceptores pelo acréscimo que me trouxeram, norteando a minha caminhada em busca de conhecimento.

Por fim, agradeço ao meu orientador Mestre Ademar Paulo Júnior pela paciência e dedicação nesse tempo que estivemos juntos para a conclusão deste trabalho, que representa a finalização de mais uma etapa da minha vida.

RESUMO

No presente trabalho trazemos uma discussão sobre a importância de ensinar física das radiações no ensino médio, explicitando uma ordem de como seria abordado o conteúdo que faz parte da física moderna e contemporânea, encorajando os professores a encarar essa nova temática. Assim, revelamos dados de uma pesquisa realizada no Colégio da Polícia Militar de Palmas – TO, com o intuito de investigar o conhecimento a respeito de radiação ionizante por parte das pessoas envolvidas através de um questionário e uma aula expositiva. No decorrer do artigo, discutiremos sobre as tendências que o ensino está almejando como as tecnologias utilizadas para auxiliar o professor. Também dissertamos alguns tópicos de física das radiações como: história da radiação, tipos de radiações, aplicações na atualidade, efeitos biológicos, acidentes radiológicos e proteção radiológica. O questionário foi elaborado com base nesses conteúdos, onde os resultados esperados estavam de acordo com os objetivos que evidenciam a importância do ensino de física das radiações. Com isso podendo esclarecer para a população os principais conceitos, apresentando os benefícios e riscos, bem como suas aplicações na sociedade.

Palavras- Chave: Ensino de física, Radiação, Acidente radiológico, Proteção Radiológica.

ABSTRACT

This article presents a discussion about the importance of teaching physics of radiation in high school, explaining an order of how would be approached the subject that is part of modern and contemporary physics, encouraging teachers to face this new theme. Thus, datas were revealed from a research conducted at Colégio da Polícia Militar de Palmas – TO, with the aim of investigating the knowledge about ionizing radiation by the people involved through a questionnaire and an expository class. Throughout the article, it was discuss the trends that teaching is aiming at as the technologies used to assist the teacher.

Also some topics of radiation physics had been discussed such as: history of radiation, types of radiation, current applications, biological effects, radiological accidents and radiological protection. The questionnaire was elaborated based on these contents and the expected results were in agreement with the objectives that show the importance of teaching physics of the radiations. With this, it can clarify for the population the main concepts, presenting the benefits and risks, as well as their applications in society.

Key-Words: Physics teaching, Radiation, Radiological Accident, Radiological Protection.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1 <i>Teorias de aprendizagem e aprendizagem significativa</i>	<i>12</i>
2.2 <i>O ensino de Física: histórico e discussões recentes</i>	<i>14</i>
2.3 <i>A importância do ensino de Física das radiações conforme a análise de documentos: LDB, BNCC e PCN.....</i>	<i>16</i>
3. RADIAÇÃO IONIZANTE	18
3.1 <i>Breve contexto histórico das radiações</i>	<i>18</i>
3.2 <i>Tipos de radiações ionizantes.....</i>	<i>21</i>
3.3 <i>Aplicações na Contemporaneidade</i>	<i>29</i>
3.4 <i>Efeitos biológicos</i>	<i>35</i>
3.5 <i>Acidentes Radiológicos.....</i>	<i>37</i>
3.6 <i>Proteção Radiológica.....</i>	<i>39</i>
4. METODOLOGIA.....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
7. BIBLIOGRAFIA	61
8. ANEXOS.....	64
9. APÊNDICE	67

1. INTRODUÇÃO

O ensino de física no Brasil enfrenta diversas dificuldades na aprendizagem dos alunos e desperta pouco interesse entre eles. Fazendo um levantamento do desenvolvimento da tecnologia e do ambiente educacional, percebemos que a evolução rápida dos computadores, internet e aparelhos tecnológicos em geral, afeta diretamente todos os níveis da sociedade, desde a vida profissional até a vida privada. Do outro lado, visualizamos uma escola onde os professores são detentores de conhecimento aplicado em sala de aula e mantêm o estilo tradicional com quadro negro e giz, onde ainda não ocorre a participação dos alunos, desestimulando assim a criatividade e o envolvimento deles. Com a falta de estímulos, o discente não consegue fazer conexão com a física e o mundo ao seu redor, pois assim, a física é vista apenas uma matemática complicada tentando explicar algum fenômeno (HECKLER; SARAIVA; FILHO, 2007).

Os desafios para a formação de professores no Brasil têm estimulado algumas instituições a inovarem o método para formar os futuros profissionais da educação, visando uma inovação quanto aos métodos e técnicas de ensino aplicadas em sala de aula. Os recursos didáticos que o professor utiliza devem incorporar a tecnologia e novas linguagens, com isso ele deve estar preparado para utilizar a qualquer momento aparatos tecnológicos que podem oferecer uma aprendizagem diferenciada para os alunos. O docente que busca um conceito de educação inovadora, que não usa apenas o modo tradicional de aula e que se aperfeiçoa desde a graduação até uma forte educação, terá segurança para dominar a perplexidade diante de um novo método ou tecnologia (LOPES, 2015).

Conforme Pelizzari (2002), a física está presente de várias formas em nossas vidas, entretanto, nem sempre o aluno consegue compreender e assimilar o que foi ensinado em sala de aula, devido a forma de abordagem. Portanto, como sair do modo tradicional de ensinar apenas no quadro, baseado na premissa de transmissão do conhecimento onde apenas o professor escreve e fala e o aluno apenas copia e escuta?

No mundo atual, a necessidade de renovação no âmbito escolar prepara-nos para enfrentar situações atípicas decorrentes das cobranças da sociedade em geral. A certificação de metodologias que nos auxiliem a lidar com as constantes

dificuldades que os alunos possuem viabiliza uma melhora nos índices escolares (CARDOSO; DICKMAN, 2012).

A nova geração de estudantes está habituada com vários tipos de tecnologias, como acesso à internet, celulares, *tablets*, computadores, notebooks, etc, que diferente da geração anterior não possuía acesso a essas tecnologias. O que dificulta é o volume de informações que está disponível e saber como filtrá-las excluindo ou aproveitando certos conhecimentos. Uma problemática em sala de aula é que essa tecnologia é usada pela maioria dos alunos como um produto de status e o uso para a busca de conhecimento é deixado de lado (SOUSA, 2007).

De acordo com Lopes (2015), é importante questionar o quanto o consenso sobre a necessidade de qualificação garante a contribuição de um grupo de professores importante na determinação do ensino de física de qualidade. Todavia, a execução destes métodos acarreta um processo de reformulação e modernização de toda equipe pedagógica. Desta maneira, a percepção das dificuldades pode nos levar a considerar a reestruturação da gestão inovadora da qual fazemos parte, melhorando assim todo um conjunto.

Conforme Gurgel, Barbosa e Branco (2012), uma técnica que auxilia o ensino de física é o uso da tecnologia, pois o aluno é instigado a buscar conhecimento. Segundo ele, simples formas de trabalhar com as novas tecnologias prendem a atenção do aluno e consequentemente faz com que ele se interesse pela física e suas aplicações. “Neste contexto, pode-se reafirmar o unânime reconhecimento da eficácia do computador como instrumento de apoio ao processo de ensino, fator preponderante no processo de aprendizagem em todas as áreas do conhecimento” (GURGEL; BARBOSA; BRANCO, 2012, p.02).

Uma forma alternativa de ensino é o uso de simuladores, que permite que o estudante tenha uma visão do movimento ou fenômeno e que também podem auxiliar o professor. A influência positiva nesse processo de aprendizagem inclui representações múltiplas como vetores, gráficos, tabelas, animações, etc., todos conectados com intuito de auxiliar o aluno. “A utilização destas representações enriquece o modelo simulado e facilita o aprendizado dos conceitos científicos abordados na simulação” (SERRANO; ENGEL, 2012).

De acordo com Tavares (2004), os simuladores que produzem animações favorecem o professor, ao explicar um determinado conteúdo, e o aluno em sua percepção de como ocorre esse fenômeno:

Uma animação se caracteriza por mostrar a evolução temporal de um dado evento e se presta de maneira exuberante para a exposição de fenômenos que se apresentam intrincados para aqueles alunos que não têm uma percepção visual aguçada ou uma capacidade de abstração sofisticada. Podemos citar, como exemplo, a grande dificuldade em expor um conteúdo como a propagação de ondas longitudinais em meios elásticos (tal como a onda sonora), usando como recurso apenas giz e quadro, em comparação com a facilidade que esse tópico é apresentado através das animações (TAVARES, 2004, p. 58).

Dentro do ensino de Ciências, para os professores é um desafio fazer com que todos os estudantes de uma turma aprendam o conteúdo de forma clara e objetiva. A física em si possui conteúdos com vários graus de dificuldade e muitos deles desconectados com a atualidade. A contextualização é de suma importância para o aluno manter o foco e interesse em aprender física. Entretanto, alguns livros didáticos não fazem a conexão com o presente ou um futuro próximo. Induzem os professores a ensinarem aplicações básicas que fogem do mundo real, em que todos os experimentos são apresentados no modo ideal, tornando assim a aula desconexa com a vida deles (SOUSA, 2007).

Por isso, a importância de possuímos propostas para reformulação dos currículos de física no ensino médio, com a inclusão de conteúdos da Física Moderna, em especial, Física das radiações. Um tópico que faria uma ponte entre os conhecimentos dos alunos e as novas tecnologias aplicadas, uma física diferente em que o estudante irá ver a física desde o macroscópico até o microscópico, ou seja, um mundo que não enxergamos, assim contribuindo para uma melhor formação tecnológica e social enxergando um mundo diferente.

Portanto, o principal objetivo desse trabalho é apresentar um conteúdo sobre radiação ionizante na disciplina de física para o ensino médio, visto que tal conhecimento é de suma importância para a população devido a sua história e aplicação no cotidiano. Desse modo, o conhecimento pode salvar vidas, usando a prevenção adequada com uso de equipamentos de radioproteção, com a finalidade de reduzir em parte o senso comum relacionado ao tema.

Desta maneira, o presente trabalho pretende encorajar outros professores a buscar meios de atualizar o currículo do ensino médio, tornando esse assunto importante ao elaborar durante o seu planejamento escolar o ensino sobre: a história

dos físicos envolvidos no assunto, tipos de radiação ionizante, aplicação na contemporaneidade, seus efeitos biológicos, acidentes radioativos e proteção radiológica.

Ao analisar o documento de referência para elaboração dos planos de ensino 2018 disponível pela secretaria de educação do Tocantins, verifica-se que, esse conteúdo não está disponível para os estudantes. A confirmação com alguns professores de física verificou-se a necessidade de abordar e aprofundar esse assunto em sala de aula. Justificamos, portanto, a importância de ensinar o conteúdo de radiação ionizante na disciplina de física no ensino médio.

Outra justificativa para a escolha desse tema foi o acidente de Goiânia envolvendo o Césio-137, onde pessoas morreram por falta de informação e conhecimento do perigo existente. O que foi criado para salvar vidas estava matando as pessoas. É uma construção de um novo conhecimento no âmbito escolar que se faz necessário em um mundo avançado onde as informações são de fácil acesso.

Nunca é demais lembrar o peso e o significado desses problemas, o que temos que ter sempre em mente é que o modelo estrutural aqui preconizado nos obriga à análise do processo de ensino e aprendizagem, tendo em vista que a abordagem desse tema pode contribuir para a formação dos alunos. Diante dessa problemática, o intuito desse trabalho é verificar o senso comum que as pessoas apresentam sobre o tema e a importância de ensinar sobre radiação ionizante facilitando o entendimento dos alunos diante do assunto ministrado nas turmas de primeiro, segundo e terceiro ano do ensino médio através de uma aula e um questionário aplicado onde será analisado e discutido posteriormente.

Ao ministrar aulas com o assunto sobre radiação ionizante, notava-se o grande interesse dos alunos em conhecer esse novo tópico, as perguntas e indagações sobre algo novo demonstrava o interesse pelo assunto. O resultado com a aplicação dos questionários foi o previsto, observando em suas faces o encantamento pelo mundo microscópico e a frustração da quebra do conhecimento do senso comum juntamente com a falta de conhecimento de alguns termos durante a aula foi suficiente para comprovar a importância de ensinar física das radiações. Para confirmar, a análise do questionário revelou o quanto é interessante esses

estudantes aprenderem sobre isso, podendo fazer a diferença na vida de uma pessoa, se protegendo ou evitando um acidente.

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: no capítulo 2 fazemos uma breve revisão da literatura, onde abordaremos sobre aprendizagem significativa de David Ausubel juntamente com o contexto histórico do ensino de física e finalizando com uma análise dos documentos oficiais em que a educação se apoia. No capítulo 3 foi percorrido sobre os conteúdos que envolvem a radiação ionizante dividido em seis subcapítulos. Iniciando com uma história dos principais Físicos envolvidos no assunto, em seguida, os tipos de radiações ionizantes e sua interação entre eles, algumas aplicações na atualidade, seus efeitos biológicos, os acidentes radiológicos e por fim proteção radiológica.

O capítulo 4 descreve a metodologia utilizada para coletar os dados através de um questionário e observações, em seguida no capítulo 5 apresenta os resultados e discussões, em que foi analisada cada pergunta do questionário fazendo algumas considerações. Por fim o capítulo 6 formaliza as considerações finais e exibe uma conclusão do trabalho ao todo, em que faz revelações se os objetivos foram alcançados ou não. Fechando o trabalho segue as referências bibliográficas em que o trabalho se embasa, alguns anexos e o apêndice.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Teorias de aprendizagem e aprendizagem significativa

Para Pelizzari (2002), as dificuldades de ensinar os estudantes são cada vez mais perceptíveis, com isso facilita a criação de métodos que melhoram a forma de mediar o conhecimento. Com isso, a forma de explicar a aprendizagem produzida em ambiente escolar, pode ser classificada, de acordo com Ausubel (1982) em aprendizagem significativa e aprendizagem memorística.

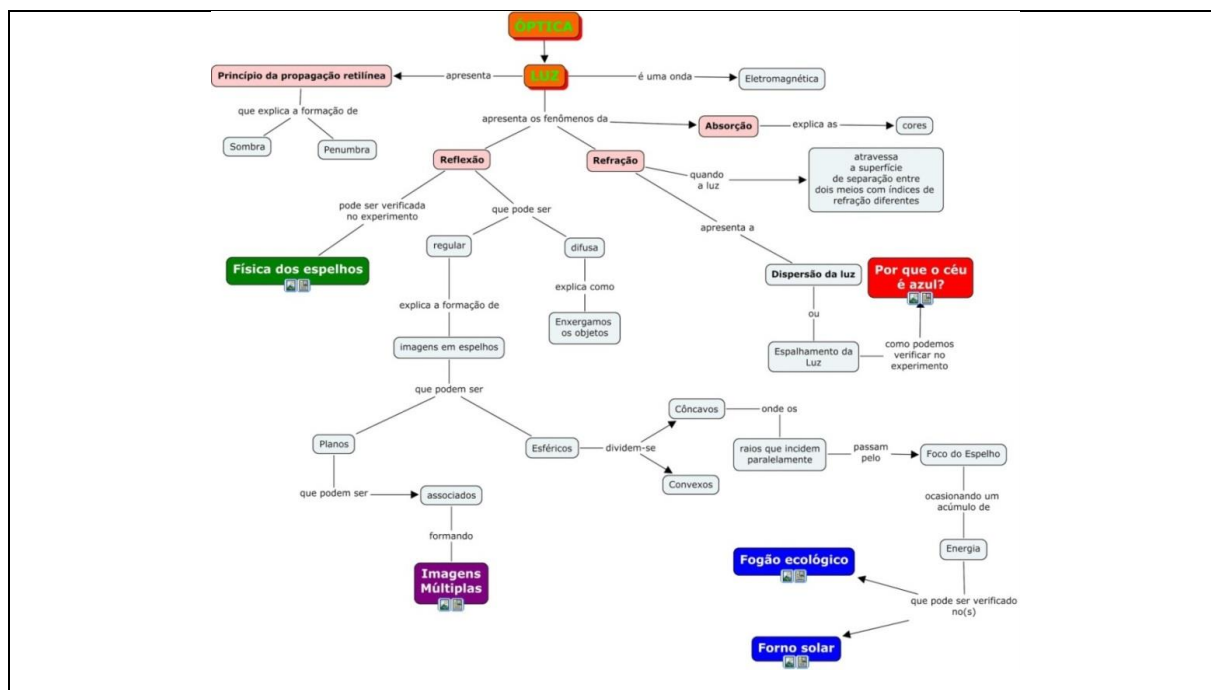
Desta forma, a aprendizagem significativa é a inclusão e organização de um conteúdo na estrutura cognitiva. O processo ocorre à medida que um novo conteúdo é incluído as estruturas de conhecimento do aluno e adquire significado para ele a partir da familiaridade do seu conhecimento prévio. Por isso o educador deve saber identificar esses conhecimentos prévios, já que o conhecimento preexistente funcionará como um ponto de partida para novos conhecimentos (TAVARES, 2004).

No cérebro, os novos conhecimentos são armazenados de forma organizada, estabelecendo uma hierarquia de ideias, com os conceitos específicos de um tema ligados a conceitos mais gerais. Com isso uma técnica utilizada para aprendizagem significativa são os mapas conceituais conforme diz Pelizzari (2002, p.41): “Os mapas conceituais têm por objetivo representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição é constituída de dois ou mais termos conceituais unidos por palavras para formar uma unidade semântica”.

Conforme Pelizzari (2002), os mapas conceituais auxiliam o estudante a relacionar os termos, fazendo ligações de um ou mais conceitos gerais formando um conceito específico. Os conceitos gerais ficam na parte superior do mapa e, ao aprofundar, fazendo as ligações com novos conceitos específicos que irão situar-se na parte inferior do mapa, o que deve ocorrer de forma organizada e hierárquica.

A seguir, temos um exemplo de mapa conceitual relacionado ao conteúdo de óptica, partindo dos conceitos da luz e escolhendo um caminho que conecta com conceitos de fenômenos diferentes, no final do mapa os novos conceitos pode ser: i) imagens formadas por espelhos; ii) porque o céu é azul?; iii) explicação das cores.

Figura 1 - Mapa conceitual relacionado ao conteúdo de óptica.



Fonte: http://experimentandofisica.blogspot.com/2012/12/mapas-conceituais_10.html

O outro eixo refere-se à memorização, ou aprendizagem mecânica, de um dado conceito sem fazer uma âncora com algum conhecimento prévio, ele define aquele conteúdo como verdade absoluta sem investigar ou duvidar do que foi

ensinado. Assim esse novo conceito exige um esforço muito menor, por isso é o método bem utilizado em provas e testes, particularmente em exames que exige do aluno respostas prontas e que não precisa associar a outro conteúdo. Com isso em longo prazo o aluno tende a esquecer do conceito decorado (TAVARES, 2004).

Entretanto, a aprendizagem mecânica em alguns momentos é inevitável acontecer para que ocorra a aprendizagem significativa, pois se um conceito for extremamente novo para a pessoa, sendo que ela não possui nenhum conhecimento prévio, a única maneira é fazer o uso da aprendizagem memorística para criar em seu cérebro um conhecimento que servirá de âncora para outros (TAVARES, 2004).

De acordo com Cardoso e Dickman (2012), além de numerosas pesquisas na área de Ensino de física que buscam formas distintas no ensino ou práticas pedagógicas eficientes, em geral, pressupõe-se que, na Física, o estudante ainda seja um observador, memorizando fórmulas e exercícios já usualmente trabalhados. Nesse contexto, o aluno frente a uma conjuntura inusitada tende a ficar mexido, pois não possui elementos na sua estrutura cognitiva que o auxiliem na produção de um raciocínio para resolver o obstáculo.

2.2 O ensino de Física: histórico e discussões recentes

Desde os primórdios, o conhecimento foi passado de geração em geração de formas diferentes. Os questionamentos e as respostas sobre os fenômenos da natureza eram registrados através de seus pensadores e transmitidos para a elite ou pessoas selecionadas pelos mestres (ARANHA, 1994).

Após um longo período de transmissão do saber, chegamos ao ponto em que chamamos de ensino tradicional. Onde os alunos permanecem sentados em filas olhando para frente enquanto o professor fala e escreve no quadro. Esse modo rotineiro e mecânico de aprender foram intitulados por Paulo Freire como educação bancária. Onde o professor faz o depósito do conhecimento e o aluno se comporta como um caixa eletrônico recebendo esse depósito, ou seja, absorvendo todo esse conhecimento sem poder questionar o professor. Prevalecendo assim o autoritarismo, onde o professor é que comanda a sala de aula e os alunos apenas obedecem (FREIRE, 1987).

No século XXI os estudantes possuem um maior contato com o mundo devido sua conectividade com a inovação e tecnologia. Mas certos conceitos de física ainda estão longe de serem iguais no mundo real, pois o ensinamento está condicionado a circunstâncias ideais em que o aluno sabe que é quase impossível obter o mesmo resultado em condições normais (RICARDO, 2010).

Então qual vai ser a motivação do aluno em aprender física? Por que ensinar física nas escolas? Uma das respostas seria o alfabetismo científico definido por Sasseron (2010, p.10) que diz: “o objetivo do ensino de ciências que almeja a formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida”.

De acordo com Sasseron (2010, p.10), a ideia de alfabetização científica vai de encontro ao conceito de alfabetização de Paulo Freire que diz:

...a alfabetização é mais que o simples domínio psicológico e mecânico de técnicas de escrever e de ler. É o domínio destas técnicas em termos conscientes. (...) Implica numa autoformação de que possa resultar uma postura interferente do homem sobre seu contexto. (apud FREIRE, p.111, 1980).

A tendência do ensino de física é a contextualização do conteúdo, dando exemplos do cotidiano do aluno. Oferecendo suporte para aqueles alunos que não possuem motivação para aprender ciências. Assim, o estudante vai modificando as concepções sobre a natureza em que antes prevaleceria o senso comum (RICARDO, 2010).

Ricardo (2010) questiona: o professor que é recém-formado e que sua aprendizagem ocorreu de forma aprofundada, como transmitir o mesmo conhecimento para estudantes do ensino fundamental ou médio? Isso se deve a transposição didática. Esse termo está relacionado ao conhecimento adquirido pelo meio acadêmico transformado em um ensino para educação básica.

De acordo com Ricardo (2010), o conteúdo ministrado no ensino médio não é uma pura simplificação do ensino superior, e sim um novo saber reorganizado que sofreu modificações para que sejam aptos a serem ensinados.

Portanto, como avaliar se um saber já adquirido pelos cientistas deve ou não ser ensinado nas escolas atualmente? Uma das formas é conforme a necessidade da sociedade, onde o conhecimento ensinado possa ser utilizado (CHEVALLARD, 2014).

Reforçando essa necessidade da sociedade, Chevallard (2014) diz que:

É realmente uma questão de sociedade. A *sociedade* como um todo, ou seja, a sociedade que se expressa através de sua *cultura*, deve primeiro reconhecer o suposto corpo de conhecimento como conhecimento *ensinável*. Alguns corpos de conhecimento são, em uma dada sociedade, em um dado momento, tacitamente considerados “não ensináveis”.

2.3 A importância do ensino de Física das radiações conforme a análise de documentos: LDB¹, BNCC² e PCN³.

A garantia da educação no Brasil é constituída por leis que garantem todo o processo de educação, desde a pré-escola até o ensino médio, sendo dever da família e do Estado orientar e oferecer suporte para esses estudantes, preparando-os para o exercício da cidadania e para o mercado de trabalho (BRASIL, 1996).

A seção IV do Ensino médio da LEI Nº 9.394, no Art. 35 inciso II tem como finalidade o fortalecimento e aperfeiçoamento dos conhecimentos adquirido no ensino fundamental. Assim, o Art. 35 IV apresenta que: “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.” Será que todos os conteúdos de física são relacionados com a prática? Essa pergunta é complicada de responder, pois se o fato de citar uma aplicação do conteúdo é válido, os professores estão cumprindo a lei.

Além de garantir a educação, a LDB estabelece um currículo para o ensino médio que é a Base Nacional Comum Curricular – BNCC, que contém todos os conteúdos com seus objetivos e competências para auxiliar o professor e a escola no processo de formação dos estudantes. Com isso, a LDB estabeleceu no Art. 35-A que:

A Base Nacional Comum Curricular definirá direitos e objetivos de aprendizagem do ensino médio, conforme diretrizes do Conselho Nacional de Educação, nas seguintes áreas do conhecimento: I - linguagens e suas tecnologias; II - matemática e suas tecnologias; III - ciências da natureza e suas tecnologias; IV - ciências humanas e sociais aplicadas (BRASIL, 1996).

E no Art. 36:

O currículo do ensino médio será composto pela Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos, que deverão ser organizados por

¹ LDB: Lei de Diretrizes e Bases

² BNCC: Base Nacional Comum Curricular

³ PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais

meio da oferta de diferentes arranjos curriculares, conforme a relevância para o contexto local e a possibilidade dos sistemas de ensino (BRASIL, 1996).

Assim, a BNCC definiu um currículo de âmbito nacional que ampara todas as escolas. Definindo competências e habilidades que proporcionam o aumento dos conhecimentos adquiridos na educação básica. Ao analisar a área do conhecimento III – Ciências da Natureza, a BNCC 2018 diz que:

Na área de Ciências da Natureza, os conhecimentos conceituais são sistematizados em leis, teorias e modelos. A elaboração, a interpretação e a aplicação de modelos explicativos para fenômenos naturais e sistemas tecnológicos são aspectos fundamentais do fazer científico, bem como a identificação de regularidades, invariantes e transformações. Portanto, no Ensino Médio, o desenvolvimento do pensamento científico envolve aprendizagens específicas, com vistas a sua aplicação em contextos diversos.

Ao definir as competências específicas e habilidades no ensino médio, na área de Ciências da Natureza foram acrescentados conhecimentos que surgiram na elaboração da proposta do ensino fundamental, temáticas como: Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Dessa forma a física das radiações é inserida de forma que explica sobre o comportamento dos elétrons frente à absorção de energia luminosa e sobre as consequências de emissões radioativas no ambiente e na saúde (BRASIL, 2018).

A habilidade que se destaca o assunto de Física Moderna na competência de Matéria e energia é apresentada seguinte forma: “Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.” (BRASIL, 2018).

Outro documento que dá um suporte mais técnico do assunto a ser abordado são os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que são recomendações de normas para as escolas e professores seguirem constituindo um sentido ao encaminhamento da educação, portanto são as referências para a construção das matrizes curriculares dos professores. Esse documento também faz referência ao tema estruturador Matéria e Energia, onde faz recomendações de como proceder com as competências (BRASIL, 2000).

Apesar dos atuais documentos apresentarem uma proposta que envolve novos temas e novas reformulações, tem como prazo definido para começar a partir de 2019. Assim o DOCUMENTO REFERÊNCIA PARA ELABORAÇÃO DOS

PLANOS DE ENSINO 2018 em que a Secretaria de Educação, Juventude e Esportes (SEDUC) do Estado do Tocantins, apresenta um suporte para o professor, até o presente momento não inclui Física das radiações ou algum tema relacionado em seu currículo (SEDUC -TO, 2017).

As discussões realizadas para que fosse feita a mudança nos documentos que dão apoio aos professores demonstra a importância do ensino de física das radiações. Proporcionando ao estudante uma conectividade com um mundo moderno como é relatado no PCN: “Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade”.

3. RADIAÇÃO IONIZANTE

3.1 Breve contexto histórico das radiações

O final do século XIX e início do XX foi um período que rendeu quatro prêmios Nobel em física e um em química, relacionados à radiação, em uma época grandiosa e de muita descoberta que revolucionou a física e a química. E com isso impactou também na medicina, melhorando seus diagnósticos. Tudo isso começou a partir da descoberta dos raios X e logo após os elementos radioativos (NAVARRO; et al, 2008).

O descobrimento do raio X foi através de Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) em 1895, ao fazer experimentos com tubos de raios catódicos observou que uma placa com elemento fluorescente brilhou. Intrigado, Röntgen colocou um livro e uma chapa de alumínio, com o intuito de barrar e observou que o brilho persistia na placa. Então denominou aqueles raios que atravessavam de raios X, incógnita usada na álgebra quando queremos determinar algo, para depois determinar como esse fenômeno ocorria (NAVARRO; et al, 2008).

De acordo com o Scaff (1997), a primeira radiografia feita na história ocorreu quando Bertha, sua esposa, estava em seu laboratório e ele fez a radiação atravessar a mão de sua mulher e ao colocar uma chapa fotográfica atrás da mão percebeu a imagem anatômica realizada pelos raios X. Pela revelação, em 1901 ganhou o seu primeiro Nobel em física e com isso ele concluiu que, os raios X:

- 1- Em certos elementos provoca fluorescência;
- 2- Escurecem lâminas fotográficas;

3- É radiação eletromagnética, semelhante à luz, pois não sofre desvio da trajetória em campos elétrico ou magnético;

4- Tem um alto poder de penetração;

Quase simultaneamente o físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908), ficou conhecido pelo descobrimento dos efeitos que o urânio causava semelhantes ao raio X, a substância fosforescente era sulfato duplo de potássio e uranila $K_2(UO_2)(SO_4)_2$. Hoje sabemos que a radioatividade é composta por fenômenos no qual o núcleo se desintegra e se transforma em outro elemento, emitindo assim radiações (α , β , γ), mas Becquerel nem imaginou que estava na presença de diversas emissões causada pelo elemento. As presunções sobre o raio X era que esses feixes recém descobertos eram parecidos com as ondas ultravioletas⁴, todavia com uma maior capacidade de penetração no material (MARTINS, 2003).

Becquerel resolveu realizar uma experiência da seguinte forma: submeter à ação da luz solar a amostra dos sais de urânio, em seguida colocá-la em contato com um filme fotográfico embrulhada com um papel opaco. Para ter segurança de que os feixes emitidos eram iguais às radiações descobertas por Röntgen, ele colocou uma peça metálica entre a amostra e a chapa fotográfica. Se fossem equivalentes, essas radiações seriam capazes de penetrar a fina espessura do metal. Foi assim que ele descobriu a radioatividade natural no ato que os raios atravessam o metal e marcam a chapa fotográfica (LOPES, 2007).

De acordo com o Martins (2003), o período de descobertas sobre radiação não acaba com os físicos Marie Sklodowska Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) do qual geraram a primeira filha Irène em 1897 que posteriormente se tornou cientista. No mesmo ano do nascimento de Irène, Marie Curie inicia seus estudos e experimentos em um laboratório, no qual o tema de estudos do casal inicialmente foi o urânio através do método elétrico. O motivo do procedimento era obter resultados mais imediatos do que o filme fotográfico. Depois de testar o urânio, ela resolveu testar outros elementos e logo nas primeiras semanas fez uma descoberta promissora: o tório e seus compostos tinham as mesmas particularidades do urânio e assim verificou a semelhança entre eles. Ao medir a intensidade da corrente

⁴ Ondas ultravioletas: É um tipo de radiação eletromagnética com comprimento de onda menor do que o da luz visível e maior que os raios X, possuindo comprimentos de ondas de 100 nm à 400 nm. Sua principal fonte é o sol, porém pode ser produzido artificialmente.

provocada pelos compostos de urânio e tório descobriu que a atividade dos elementos analisados dependia apenas da quantidade da substância neles presente e de nada mais. Daí veio a hipótese de que a radiação é proveniente de uma propriedade atômica desses elementos químicos. Ao avançar os estudos descobriu o Polônio (Po) e o Rádio (Ra), assim surgiu o nome radioatividade proveniente do elemento químico rádio. Essas descobertas renderam ao casal um prêmio Nobel de Física em 1903 no mesmo ano que Becquerel e posteriormente Marie Curie conquistou um Nobel de Química em 1911.

Prosseguindo com a história da radiação, outra descoberta importante foi realizada pela filha do casal Curie, Irène Curie (1897-1956) casada com Frédéric Joliot. Eles descobriram uma forma de produzir elementos radioativos artificiais em laboratório, até então não existentes, bombardeando um elemento estável com partículas α (alfa) originário do Polônio, criando assim o primeiro elemento radioativo chamado de Radiofósforo. Com isso, ganharam o prêmio Nobel em química em 1935 (LOPES, 2007).

As pesquisas relacionadas a radioatividade fizeram parte da vida de Ernest Rutherford (1871-1937), no qual foi recebeu um prêmio Nobel em 1908 de Química. Após entender sobre as emissões das partículas alfa e beta, foi em Cambridge que seus estudos revolucionaram o entendimento sobre a “menor” partícula do universo, o “átomo”, ele desenvolveu um modelo atômico no qual explicava como seria sua estrutura e funcionamento através de um experimento (PEDUZZI, 2005).

Utilizando uma fonte emissora de partículas alfa, Rutherford bombardeou uma fina folha de ouro e observou em um anteparo o registro do desvio feito por essas partículas. Com isso ele verificou que algumas partículas sofriam o desvio e outras não desviaram da trajetória. Sugeriu então que o átomo é formado por um núcleo muito pequeno e positivo, contendo quase toda a massa do átomo e orbitado por elétrons, possuindo um enorme espaço vazio entre eles, denominando essa descoberta como o modelo planetário de Rutherford, onde mais tarde foi aperfeiçoado por Niels Bohr (MARQUES; CALUZI, 2003).

Até agora na história citamos as descobertas feitas por alguns cientistas. Mas o primeiro impacto negativo foi quando se iniciou a criação das armas nucleares e, logo em seguida, foi utilizada a bomba atômica na segunda guerra Mundial em 1945. O projeto Manhattan criado pelos Estados Unidos devido sua entrada na Segunda

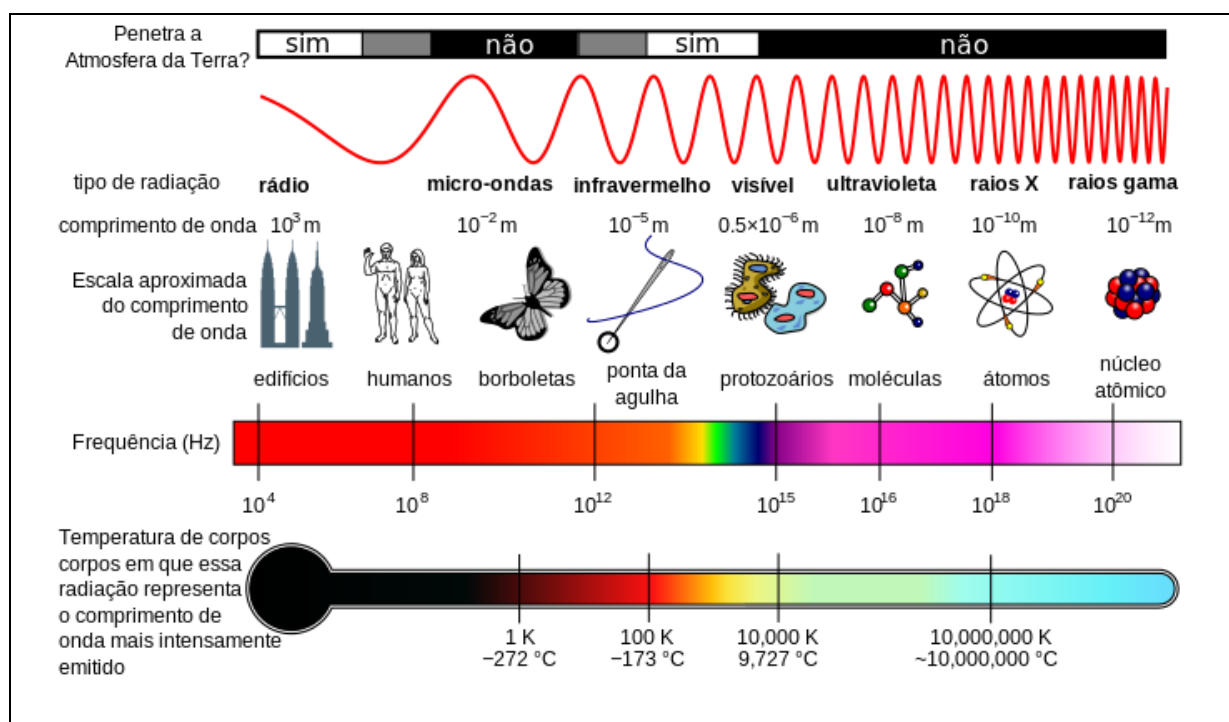
Guerra, desenvolveu as bombas Atômicas “*Little Boy*” feita de urânio que atingiu Hiroshima e a “*Fat Man*” feita de plutônio que atingiu Nagasaki. Essas duas explosões levaram a morte mais de 100 mil pessoas (MERÇON; QUADRAT, 2004). Nos próximos capítulos serão apresentados as vantagens e o uso da radiação em várias aplicações.

3.2 Tipos de radiações ionizantes

Ao estudar o sobre espectro eletromagnético em física, entendemos que na natureza existem vários tipos de radiações divididas em grupos. Em relação à capacidade de ionizar átomos ou moléculas, as radiações são divididas radiações não ionizantes e radiações ionizantes de acordo com sua energia.

Modelo de espectro eletromagnético.

Figura 2: Espectro eletromagnético.



Fonte: Wikipédia

Conforme Nunes (2007), a energia está relacionada diretamente com a frequência das ondas presente em cada radiação, que se estende em ondas de baixa frequência até as de maior frequência que é a radiação gama. Essa relação foi determinada por Max Planck (1858 – 1947) que determinou que a troca de energia

ocorresse de forma quantizada, ou seja, múltiplos inteiros de “quantum”⁵, fazendo com que a frequência seja um fator que diferencia os tipos de onda. Cada “quantum” de energia foi definido como: $E = hf$, onde f é a frequência da radiação e h é uma constante universal que ficou conhecida como constante de Planck.

Assim o espectro eletromagnético é constituído através das distribuições das ondas eletromagnéticas, visíveis e não visíveis, de acordo com a frequência e o comprimento de onda característico de cada radiação. Assim é definido em forma de escala que se diferencia desde os pequenos comprimentos de ondas até os maiores, começando respectivamente pelos raios gama, raios X, ondas ultravioletas, luz visível⁶, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 1996).

De acordo com o Yoshimura (2009), a física das radiações é o estudo que compreende a interação da radiação com a matéria, essa interação compreende-se a transferência de energia da radiação para o meio. O termo radiação ionizante, é toda radiação que possui energia suficiente para remover elétrons de moléculas ou átomos. Essas Radiações é dividida em 3 grupos: radiação eletromagnética, partículas carregadas rápidas, partículas Neutras.

A Radiação Eletromagnética além de não possuir massa, não precisa de um meio de propagação e ela move-se na velocidade da luz ($3,0 \times 10^8$ m/s), sendo considerada como onda neste efeito. A velocidade da onda esta relacionada com o comprimento de onda representado pela letra grega lambda⁷ (λ) e com a frequência⁸ (f): $v = \lambda f$.

Os raios X fazem parte deste grupo e para entender o processo fundamental de produção dessa onda dividimos em “raios x de freamento” e “raios x característicos” (SCAFF, 1997).

De acordo com Okuno e Yoshimura (2010), o raio X de freamento consiste quando um elétron atinge um alvo “núcleo” e é desacelerado bruscamente devido a atração do campo elétrico que o núcleo produz. Ao perder boa parte da sua energia

⁵ A energia, até então considerada como algo contínuo, se apresente em escala atômica, como pequenos “pacotes” indivisíveis.

⁶ A luz visível possui um espectro colorido porque cada uma das ondas oferece a sensação de uma cor, cores essas que estão associadas ao comprimento de onda e frequências.

⁷ É a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos, paralelo a direção de propagação de onda.

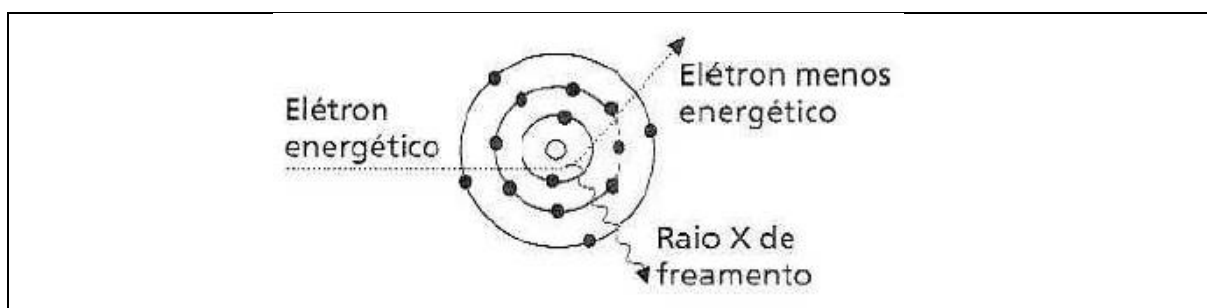
⁸ A frequência é uma grandeza física que indica o número de ocorrências de um evento (ciclos, voltas, oscilações etc) em um determinado intervalo de tempo.

é emitido um fóton de raio X. Assim, o espectro dessa onda eletromagnética é contínuo, os fótons produzidos possuem pacotes de energias diferentes desde pequenos valores até um valor máximo $E_{\text{máx}}$, que é toda energia cinética do elétron $K(\text{elétron})$. Isso ocorre devido essa produção ser independente do material e dependente somente da diferença de potencial V . Conforme a Lei de Duane e Hunt,

$$K(\text{elétron}) = eV = E_{\text{máx}} \text{ do foton} = h\nu_{\text{máx}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{min}}}$$

é possível determinar a energia máxima do fóton sabendo-se o potencial elétrico (V) aplicado e o valor da carga do elétron (e), ν representa a frequência e λ o comprimento de onda.

Figura 3- Geração de raio X de freamento.



Fonte: (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

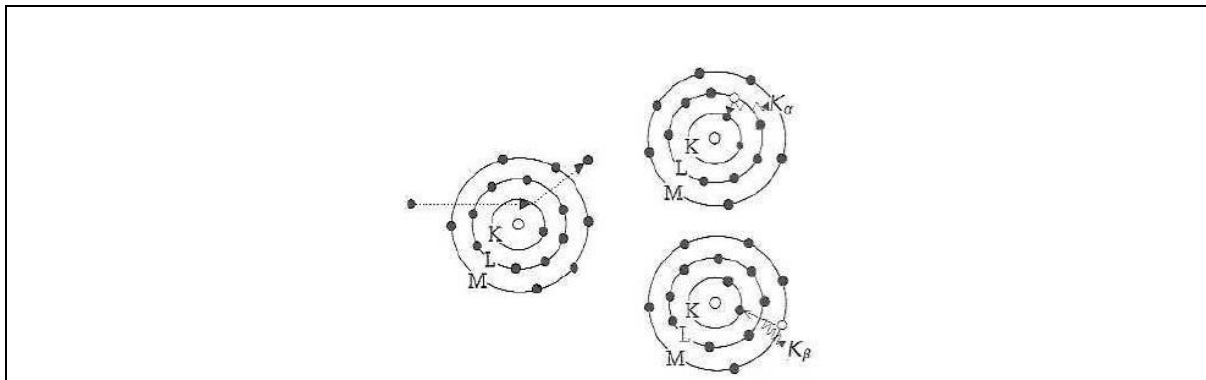
Os raios X característicos ocorrem quando os elétrons ionizam os átomos, ou seja, arrancam outros elétrons das camadas energéticas do átomo sobrando assim uma vacância, quando outro elétron de uma camada salta para preencher essa vaga ocorre uma liberação de energia em forma de fóton determinado assim o raio X característico. Diferente dos raios X de freamento, esses dependem do material, uma vez que ao ionizar átomos de diferentes materiais cada um vai emitir uma energia de forma diferente correspondente ao estado energético de cada material.

Seu espectro de energia é discreto, o que foi descoberto por Charles Grover Barkla que recebeu o prêmio Nobel em 1917. A energia do fóton de raio X emitido é da ordem de muitos Kev⁹, e é calculada como a diferença de energia de transição de um elétron de uma camada mais energética para uma camada menos energética. Um exemplo seria a diferença de energia da camada L e K.

A figura 4 a seguir ilustra como seria esses o salto de um elétron energético.

⁹ Elétron-volt (eV): representa a unidade de energia definida como o trabalho realizado ao mover um elétron através de uma diferença de potencial elétrico de 1 volt. Temos a seguinte relação entre 1 Joule e 1 eV: $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$. Existem vários múltiplos do Elétron-Volt, portanto keV (quilo eV): mil elétrons-volts = 10^3 eV

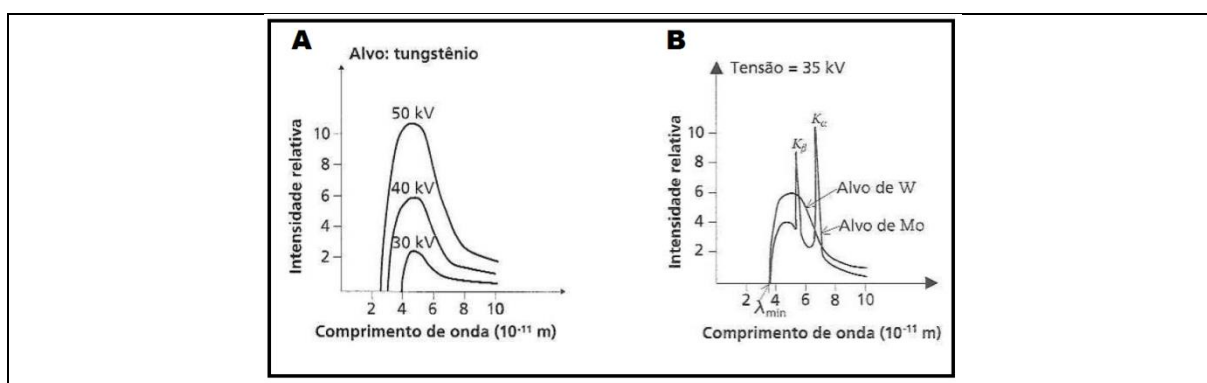
Figura 4 - Demonstra um elétron colidindo e arrancando outro elétron do átomo sobrando uma vacância e ao preencher essa vaga ocorre a emissão de um raio X característico.



FONTE: (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Conforme Okuno e Yoshimura (2010), a figura em seguida compara o espectro A e B. A figura A, mostra o espectro contínuo de raios X produzidos em tudo com alvo de tungstênio W, para três valores do potencial. A intensidade relativa é proporcional ao número de fótons de uma dada energia. A figura B, representa um espectro de raios X emitidos por um tubo com alvo de Molibdênio Mo e W, quando elétrons são acelerados por uma diferença de potencial de 35 kV, ocorrendo assim uma emissão de um fóton de raio X característico $K\alpha$ e $K\beta$ no alvo de Mo.

Figura 5 – O gráfico A representa o espectro de raio X contínuo e o gráfico B representa um espectro de raio X característico.



Fonte: (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

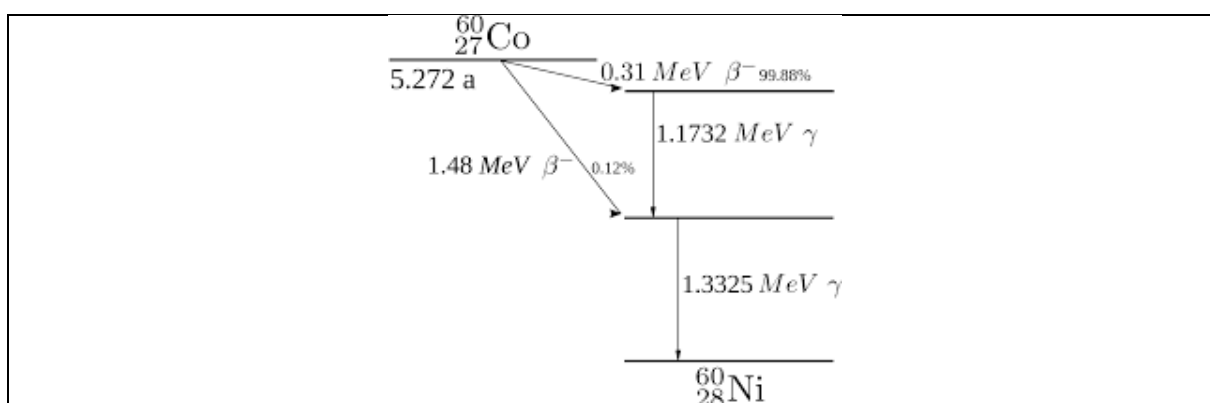
Conforme Scaff (1997), outro tipo de radiação ionizante que faz parte do grupo de radiações eletromagnéticas é a radiação gama, representado pelo símbolo grego γ . Esse tipo de radiação é proveniente da energia de excitação de núcleos instáveis. Também são fótons de alta energia e possuem uma frequência altíssima

superior a 10^{19}Hz^{10} . Alguns elementos encontram-se no nosso meio natural em forma de radioisótopos¹¹ descritos na tabela periódica como: Urânio (U), Rádio (Ra), Polônio (Po), Cobalto (Co), Césio (Cs) e outros. Quando algum desses elementos se desintegram emitindo uma partícula Alfa (α) ou Beta (β) o núcleo “filho” continua excitado e libera essa energia na forma de raios gama.

Um exemplo de desintegração é a do Cobalto 60 (núcleo pai) que após uma emissão de uma partícula beta faz com que este composto decaia para o Níquel 60 (núcleo filho). Pelo fato do núcleo pai estar no estado excitado, o núcleo filho libera esse excesso de energia em forma de 2 fótons de raios gama com energia de 1,17 MeV e 1,33 MeV.

A seguir a figura 6 representa um esquema da emissão dos raios gama devido a desintegração do Cobalto 60.

Figura 6 - Esquema de desintegração do Cobalto 60.



Fonte: (SCAFF, 1997).

Os tipos de radiações eletromagnéticas (REM) ionizantes possuem probabilidades de interação com a matéria, ou seja, tem chances de interagir com os átomos, com os elétrons ou com o núcleo. Assim, a radiação pode ser completamente espalhada conservando toda sua energia; pode ser absorvida dissipando sua energia e pode ser espalhada com alguma absorção ou dissipação de energia. Não menos importante tem-se a probabilidade de não interação, ou seja, atravessar distâncias consideráveis sem interagir com o material. Isso depende da

¹⁰ Hertz representado pelo símbolo Hz é a unidade de medida utilizada para medir frequência em termos de ciclos por segundo.

¹¹ Radioisótopos são formados por Isótopos, que são átomos com o mesmo número atômico e diferente número de massa. É um nuclídeo instável que emite radiação.

densidade e espessura do objeto, além do coeficiente de atenuação de massa (YOSHIMURA, 2009).

De acordo com Scaff (1997), as probabilidades de ocorrer as interações foram classificadas de acordo com a mudança do meio da radiação incidente e produzida. Com isso, podemos considerar cinco tipos de espalhamentos:

- **Espalhamento Coerente:** Denominado também de efeito Rayleigh, remete-se quando em baixas energias e materiais de alto número atômico (Z) a onda é espalhada ao chegar próximo de um elétron que oscila e desvia o fóton de incidência em um pequeno ângulo. Esse espalhamento não deposita energia no material e a onda sai com a mesma frequência e energia.
- **Efeito fotoelétrico:** Esse efeito é diferente do efeito fotoelétrico convencional explicado por Albert Einstein. Devido a diferença de energia do fóton, a interação com elétrons ligados e a possibilidade de ocorrer no interior de qualquer material. Nesse caso, o fóton (tratado como partícula), retira um elétron da camada mais interna do átomo ejetando-o da órbita, camadas K ou L, e desaparece transferindo toda sua energia. Portanto o átomo fica ionizado e para preencher essa vacância outro elétron de uma camada superior desloca-se para vaga liberando uma energia na forma de raios X característicos ou elétrons Auger.
- **Efeito Compton:** Consiste na interação do fóton com um elétron da camada mais externa (Elétron Livre) cedendo parte de sua energia para ele. Esse espalhamento é tratado pelas Leis da conservação de energia e momento linear. Ao repartir sua energia, o elétron e o fóton seguem caminhos diferentes, por sua vez se o fóton incidente for de baixa energia (Kev) o fóton desviado mantém sua energia próxima ao raio incidente e se for um fóton de alta energia (Mev) o elétron sai com maior energia do que o fóton desviado. Ambos passam a ter energia o bastante para efetuar outras interações antes de dissipar toda sua energia.
- **Produção de pares elétron-pósitron:** Para fótons com energia igual ou superior a duas vezes a energia de repouso¹² do elétron, que é de 0,511 KeV, ao incidir nas vizinhanças do núcleo, esse fóton desaparece completamente e sua energia se materializa em energia de repouso formando um par de elétrons. Formando assim um pósitron (Positivo) e um elétron (Negativo), o excesso de

¹² Energia de repouso: É a energia que um corpo em repouso possui num determinado referencial, e que é igual ao produto da sua massa em repouso pelo quadrado da velocidade da luz. Sua definição consiste em: $E_0 = m_0 c^2$, onde m_0 é a massa de repouso e c é a velocidade da luz.

energia aparecerá em forma de energia cinética das duas partículas que compõem o par.

- Reações fotonucleares: O processo ocorre semelhante ao efeito fotoelétrico, visto que o fóton com energia maior do que a energia de ligação do núcleo é absorvida e com isso resulta na emissão de prótons ou nêutrons. Como o núcleo de certo elemento é composto por um número de prótons e nêutrons, altera-se o composto tornando-o outro elemento radioativo mais a liberação dessas partículas. Um exemplo comum é quando o raio gama induz uma reação espontânea de fissão nuclear¹³.

O grupo das partículas carregadas rápidas (PCRs) constitui de um grupo em que as partículas possuem carga, fazendo com que toda sua trajetória ocorra interações através da força coulombiana, ou seja, as chances de interagir são de 100%. Diferente da REM, as PCRs vão interagindo até perder sua energia e não se tornar mais ionizante. Ao dissipar essa energia é possível calcular o poder de freamento que é a perda de energia por unidade de caminho. As partículas que representam são os elétrons, pósitrons e íons pesados, dividindo-se em PCRs pesadas e leves.

Okuno e Yoshimura (2010), explica que as partículas carregadas leves constituem-se de elétrons e pósitrons. Este grupo se diferencia em parte comparado a interação das PCRs pesadas, pois sua energia cinética é maior do que a energia de ligação do elétron (energia necessária para arrancar o elétron da sua camada). O que assemelha-se com as PCRs pesadas é as interações coulombianas consecutivas que ocorre durante o trajeto da partícula. Isso faz com que ocorra a possibilidade de duas colisões¹⁴: a colisão com o elétron de mesma massa, ou seja, o elétron colide com o elétron do meio, resultando em grande diminuição de energia e desvio de sua trajetória. Outro processo é a interação com o núcleo fazendo com que a partícula carregada leve ao interagir produza um fóton raio X por freamento.

As PCRs pesadas incluem todas as partículas e íons que possuem massa de repouso maior do que a do elétron, já citado anteriormente, bem como possuam

¹³ Fissão Nuclear consiste em um processo que acontece em núcleos atômicos instáveis quando um nêutron incidente atinge um núcleo pesado e após a colisão é dividido em dois núcleos menores liberando mais nêutrons, consequentemente produzindo reações em cadeia capazes de emitir grandes quantidades de energia.

¹⁴ Ao analisar as colisões dos elétrons, ressaltamos que em virtude de a velocidade ser grande é preciso considerar a parte relativística ao seu movimento.

energia cinética maior do que a energia de ligação do elétron com o qual vai interagir. Com isso, incluem-se nesse grupo os prótons, partículas Alfa e íons pesados. Devido sua alta ionização o alcance das partículas pesadas é pequeno, sendo assim a maior parte das interações acontece com os elétrons da nuvem eletrônica. Devido sua massa ser muito superior a do elétron, isso faz com que sua trajetória¹⁵ seja retilínea no material produzindo radiações secundárias provenientes de transferências de parte da energia para o elétron (ionização) (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

De acordo com o Okuno e Yoshimura (2010, p.112), “em comparação com partículas carregadas pesadas, os alcances de elétrons são maiores, produzindo densidades de ionização menores ao longo da trajetória”. Em conformidade com o que foi dito, os autores exibem a tabela no qual ilustra o alcance uma partícula carrega comparado com uma partícula leve com as mesmas faixas de energia.

Tabela 1- Alcances de elétrons e prótons, de diversas energias, em água e alumínio.

Partícula Carregada Rápida	K (keV)	Alcance (CSDA*)	
		água	alumínio
Elétron	50	43 µm	21 µm
	100	143 µm	69 µm
	500	1,77 mm	0,84 mm
	1.000	4,37 mm	2,05 mm
	2.000	1,0 cm	4,54 mm
	20.000	9,32 cm	3,92 cm
Próton	50	0,99 µm	0,58 µm
	100	1,61 µm	0,98 µm
	500	8,87 µm	5,57 µm
	1.000	24,58 µm	14,62 µm
	2.000	75,55 µm	42,46 µm
	20.000	4,26 mm	2,14 mm

Fonte: (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Os nêutrons pertencem a outro grupo de partículas devido sua característica de não possuir carga, mas possuir massa. Acompanhado com os prótons, que têm carga positiva, os nêutrons constituem o núcleo do átomo.

Ao incidir na matéria, o nêutron pode percorrer longas distâncias semelhantes à radiação eletromagnética sem sofrer interações. A força que atua no nêutron (força nuclear forte) tem pequeno alcance e é uma interação apenas de nêutron e núcleo. Em relação a sua potência de penetração, quanto maior a energia maior sua invasão no material (YOSHIMURA, 2009).

¹⁵ Lembrando que ao tratarmos de colisão valem as leis de conservação de energia e momento.

As principais fontes de nêutrons são provenientes de radiação cósmica, interagindo com a alta atmosfera, fissões nucleares e reações nucleares. Com isso cada tipo de nêutron originado a partir desses processos possui uma energia diferente caracterizado como radiação ionizante independente do valor da energia cinética (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

As interações de nêutrons com a matéria foram classificadas em três tipos:

- O espalhamento inelástico em que ao atingir o material a radiação incidente muda a direção de propagação e sua energia produzindo radiação gama através da desexcitação do núcleo ou núcleo de recuo (adquiri energia cinética e se torna uma PCR).
- Espalhamento elástico se diferencia do inelástico devido não haver mudança de energia interna do núcleo. Como na mecânica clássica, valem as leis de conservação de energia e momento. A direção do nêutron incidente e sua energia são alteradas produzindo um núcleo de recuo e nêutron com menor energia espalhado.
- As reações nucleares, chamadas também de reações de transmutação ou de ativação, podem produzir elementos radioativos. O nêutron incidente é absorvido mudando o meio incidente fazendo com que o núcleo se torne outra espécie nuclear emitindo assim radiações gama do núcleo final.

3.3 Aplicações na Contemporaneidade

Aplicações Industriais

O avanço da tecnologia em relação a radiação ionizante avança a cada ano, criando novas aplicações. E uma aplicabilidade é o uso da radiação para esterilizar alimentos, rações, equipamentos médicos, cosméticos, vacinas e outros produtos.

O conceito de esterilização é a técnica de aniquilamento de todas as formas de vida microbiana, o qual é bem definido, ou seja, ou o material é esterilizado ou é contaminado. A esterilização por meio físico possui 3 grupos: calor seco, calor úmido e por radiações. Por meio químico pode ser realizada por meio de desinfetantes (MORIYA; MÓDENA, 2008).

De acordo com Tébéka e Hallwass (2007), a tecnologia de irradiação no âmbito de esterilização é bastante aplicada em vários países, pois esse processo proporciona uma melhor conservação dos alimentos. Esse processo impede ou inibe

a evolução do apodrecimento do alimento em função dos fungos, bactérias e parasitas presentes. A aplicação e o uso deste método, pois o processo provoca alterações mínimas na estrutura do alimento fazendo com que este aumente sua durabilidade sem perder seus nutrientes e sabores (IPEN, 2018). Outra justificativa é a vantagem ambiental comparada às técnicas tradicionais. Nesse caso, o uso dos raios gama e raios X possuem uma eficiência melhor do que os outros tipos de radiação devido sua penetrabilidade. Uma das fontes naturais utilizadas é o cobalto-60, que emite radiação gama. Lembrando que cada alimento ou produto possui características específicas que estabelece uma dose diferente para cada um.

Uma das vantagens segundo Guidolin et al. (1998) é o fato que ao irradiar o produto selecionado, se este estiver bem empacotado a radiação gama, que é a mais utilizada, irá atravessar a embalagem e esterilizar o objeto e com isso o processo de contaminação demora dias, meses ou anos conforme sua embalagem. Também existem desvantagens em relação a esse método, tais delas resultam: no alto custo do equipamento emissor de radiação para a empresa; dependendo do produto deve ser esterilizado o mais rápido possível para que a contaminação já existente não desenvolva; escurecimento do material de vidro (ampolas e frascos) devido à ação dos raios gama; riscos de alteração genética de microrganismos. Por isso o cálculo da dose para cada produto é fundamental para uma boa esterilização.

Aplicações Médicas

Conforme Navarro et al.(2008), desde a descoberta dos raios X as aplicações foram imediatas na medicina. Em 1986, já realizaram-se os primeiros exames com a finalidade de diagnosticar. Em 1987, o primeiro brasileiro Álvaro Alvim realizou a primeira radiografia. Contudo os tubos que reproduziam os raios X não eram apropriados, pois não focalizava o feixe e não tinham uma segurança adequada.

A radiografia é um exame bidimensional, onde é possível distinguir os tecidos e órgãos através da atenuação do feixe com as moléculas. Os tecidos, compostos de átomos que possuem maior número atômico, possuem uma atenuação maior ficando mais claros. Por isso, diferenciamos os ossos em relação aos tecidos (pele, órgãos, músculos, etc), pois os tecidos, por serem constituídos de elementos químicos de número atômico menor do que ossos torna sua imagem mais escura comparada aos ossos. Com isso, o filme radiológico é colocado atrás do objeto a ser

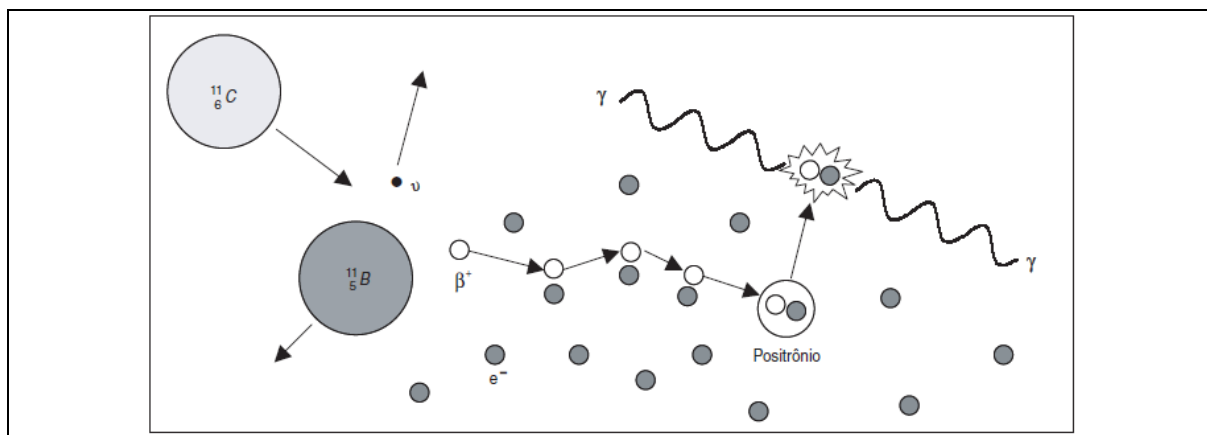
irradiado formando assim a imagem médica. Em geral, as imagens produzidas por radiografia tem grande aplicabilidade na ortopedia, tendo em vista que essa imagem fornece uma informação puramente anatômica (CARAMELO; et al., 2018).

Um aparelho que é uma evolução da radiografia convencional é a Tomografia Computadorizada (TC), esse aparelho também usa o feixe de raio X para produzir a imagem, a diferença é a energia do feixe que é mais elevada, e a possibilidade de criar a imagem em 3-D. Esse processo revolucionou a medicina, pois exame de raio X tradicional gera uma imagem em 2-D, que dependendo do lugar a ser realizado, sobrepoem-se os tecidos. Com isso a CT proporciona as imagens em fatias ao fazer a rotação em torno do paciente emitindo a radiação X e com um método matemático reconstrói as imagens de forma tridimensional (CARAMELO; et al., 2018).

A evolução na medicina é constante, da Tomografia Computadorizada evoluíram para o PET Scan (ou PET/CT) que significa *Positron Emission Tomography* ou, em português, Tomografia por Emissão de Pósitrons, é uma categoria de diagnóstico por imagem que viabiliza avaliar funções essenciais do corpo, ou seja, seu metabolismo. Esse tipo de exame é realizado através de fontes radioativas não seladas com tempo de meia vida pequeno associado à alguma substância química que é introduzido no corpo do paciente chamado de radiofármaco que será encaminhada até o tecido ou órgão em que se deseja obter informações. Com isso, a radiação vai ser emitida de dentro para fora onde um detector vai captar os feixes emitidos e formar a imagem que fornece informações sobre o funcionamento do órgão e não sua anatomia, tais como o fluxo do sangue, o uso do oxigênio e o metabolismo do açúcar (glicose), com a finalidade de contribuir a avaliação dos médicos no diagnóstico em que maneira os órgãos e os tecidos estão funcionando (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Os feixes emitidos para formação da imagem ocorrem através um decaimento do radiofármaco aplicado no paciente que por sua vez libera um pósitron e um neutrino. Quando o pósitron, conhecido como antipartícula do elétron com carga positiva, encontra um elétron do meio sofre um processo de aniquilação liberando fótons com energias iguais de 511 keV em direções opostas e assim é detectado pelo aparelho para formação da imagem. A figura 7 a seguir demonstra como ocorre esse processo (ROBILOTTA, 2006).

Figura 7 - Demonstra um decaimento radioativo produzindo um neutrino e pósitron. No meio do caminho ocorre a aniquilação com um elétron liberando fótons com energias iguais de 511 keV.



Fonte: (ROBILOTTA, 2006).

O tratamento de radioterapia se distingue em duas formas em que depende da localização da fonte radioativa. Se ela se localiza fora do paciente chamamos de radioterapia externa ou Teleterapia (RTE) e se for localizado dentro do paciente no tumor ou próximo a ele, designa-se Braquiterapia (BT) (LOPES, 2007).

A Teleterapia tem como objetivo irradiar com alta dose o tecido afetado, conhecidos popularmente por “tumores”, e minimizar o máximo as lesões nos tecidos sadios adjacentes. Podendo irradiar através de fontes naturais ou de aceleradores lineares (Linac), ambos com alto poder de produzir feixes energéticos. Para ocorrer o efeito de concentrar a radiação apenas no local desejado é feita a distribuição de dose distribuindo vários feixes apontando para o alvo com diferentes direções. O uso adequado de blindagens para cada paciente ajuda os tecidos bons a receberem uma dose menor do que o tecido tumoral (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Fontes naturais, tal como o Cobalto-60, produzem uma energia através dos raios gama entre 1,17 MeV e 1,33 MeV. Já os Linacs são aparelhos que utilizam campos eletromagnéticos para acelerar o elétron que ao ganhar velocidade e energia suficiente é direcionado ao paciente ou direcionado em algum alvo para produzir raios X de alta energia, isso faz com que o elétron acelerado aumente sua energia na faixa de dezenas de MeV. Para se ter uma melhor eficácia, as máquinas estão tendo constantes evoluções para que o paciente sofra o mínimo de lesões impróprias (LOPES, 2007).

A Braquiterapia é semelhante ao PET-CT no ponto em que a fonte radioativa se encontra dentro do paciente, só que o PET é feito para realizar exames de imagens, já a BT é utilizada para o tratamento de tumores. Ela emprega diversas fontes emissoras de radiações gama e beta que possui longa meia-vida, ou seja, é o tempo em que metade dos núcleos atômicos se desintegra pela metade. O procedimento é realizado através da introdução da fonte radioativa até o tumor no paciente por tempo determinado pela equipe de tratamento por meio de cateteres. É uma forma de tratamento bastante utilizada em tumores iniciais de próstata, câncer uterino e outros (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Existem outros tipos de exames e tratamentos utilizando a radiação ionizante como forma de obter a imagem ou um resultado planejado. A Associação Brasileira de Física Médica (ABFM), distingue essas aplicações da radiação ionizante na medicina em três áreas com funções e aplicabilidade diferentes, sendo elas: Radioterapia, Radiodiagnóstico e Medicina Nuclear (ABFM, 2018).

Produção de Energia

As usinas nucleares em um levantamento feito no ano de 2010 produziram cerca de 16% da energia elétrica no mundo através de aproximadamente 440 reatores ativos espalhados no planeta. No Brasil, em 2010, a produção de eletricidade chegou a 2% da energia elétrica produzida no país e espera-se que até 2030 o funcionamento de quatro reatores nucleares. Uma das justificativas é a produção contínua, que ao contrário das hidrelétricas varia sazonalmente. Outra vantagem é a grande produção de urânio através da mineração no Brasil, cerca de 300 mil toneladas de óxido de urânio, uma quantidade autossuficiente para produção de energia podendo ser até um exportador da matéria prima. A produção de energia pelas usinas nucleares não produz gases responsáveis pelo aquecimento global (GOLDEMBERG, 2011).

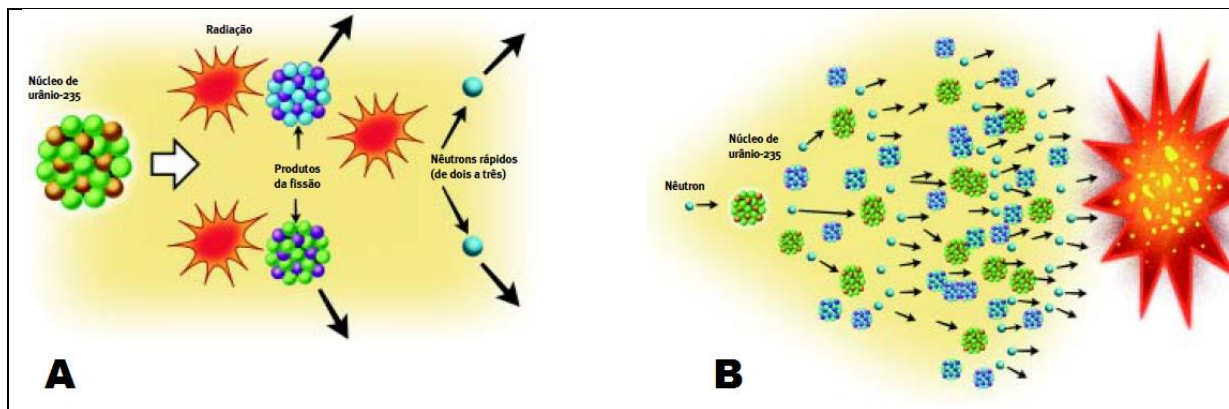
Antes de explicar o processo para produção de energia elétrica através de uma usina nuclear. Precisamos entender como funciona o processo de fissão que ocorre no reator.

Na fissão de um átomo de urânio por um nêutron são produzidos outros três nêutrons que, por sua vez, podem provocar outras fissões dando origem a uma reação em cadeia que leva à fissão de um número enorme de outros átomos. Se esse processo ocorrer rapidamente, ele dará origem a uma explosão nuclear, que é basicamente um grande número de átomos de

urânio fissionando-se num curto espaço de tempo. (GOLDEMBERG, José; p.14-15; 2011).

A figura 8 a seguir ilustra esse processo de fissão nuclear.

Figura 8 -A) processo de fissão de um núcleo de urânio-235; B) Reação em cadeia da fissão nuclear.

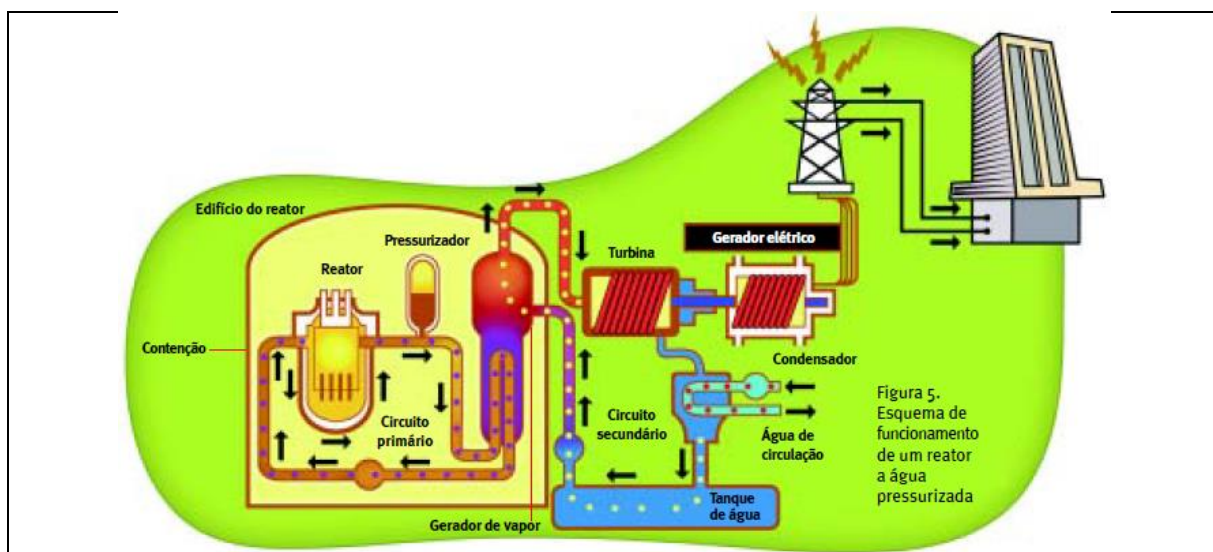


Fonte: (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

Em conformidade com Goldemberg (2011) e Gonçalves e Almeida (2005), o funcionamento de uma usina Nuclear ocorre através da fissão de Urânio enriquecido dentro de um reator que aquece a água que esta mantida em alta pressão em um sistema primário, após isso, através de trocas de calor a água aquecida transfere sua energia para o sistema secundário onde esse compartimento que também possui água transforma-se em vapor, assim move as turbinas e gera energia elétrica que vai para a rede de distribuição.

A figura 9 a seguir ilustra o processo de produção de energia nuclear.

Figura 9 - Ilustração do processo de produção de energia elétrica através da fissão nuclear.



Fonte: (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

Os pontos negativos vão desde problemas ambientais como o descarte¹⁶ radiológico gerado pelas usinas que podem durar até milhares de anos até o alto custo para manter e construir uma usina. Além disso, a produção de energia elétrica através da radiação ionizante já foi palco de grandes tragédias citadas no item 3.3, tanto por erros técnicos de alguns funcionários quanto por meio de fenômenos naturais como o tsunami (GOLDEMBERG, 2011).

3.4 Efeitos biológicos

Por volta de dois anos após a descoberta do raio X por Röntgen, foram publicados um relato de 23 casos de danos provocados por essa radiação, com isso foi fundado um comitê para reunir dados sobre os efeitos biológicos causados pelos raios X. Naquela época, foram verificadas somente lesões instantâneas em consequência do recente descobrimento, enquanto que efeitos tardios somente foram detectados cinquenta anos depois (NAVARRO; et al., 2008).

Para poder entender como ocorre essas lesões é preciso entender a como nosso corpo é composto. Sendo assim nosso organismo é formado por uma cadeia biológica em que um elemento forma o outro na seguinte ordem: átomo, molécula, célula, tecido, órgão, sistema, tecidos e por fim forma o organismo. Com isso, a radiação ionizante interage de certa forma com as moléculas ao arrancar elétrons de algum átomo sendo capaz de romper a molécula, podendo ser algumas grandes como o DNA e outros menores como a de água (OKUNO, 2013).

Segundo Gonçalves e Almeida (2005, p.05), “a resposta do organismo de um indivíduo à radiação depende de fatores como dose recebida, características orgânicas individuais, área irradiada e taxa de dose, entre outros.”. Isso faz com que a atuação da radiação mude de organismo para organismo conforme essas características.

Antes de prosseguirmos para as classificações dos efeitos biológicos é importante entender sobre dose absorvida D. Essa dose expressa a energia média depositada em um ponto. Assim foi determinada uma unidade para saber a quantidade de energia a ser depositada em um alvo que é o Rad. Essa expressão¹⁷ é relacionada com Joule da seguinte forma: $1 \text{ Rad} = 10^{-2} \text{ J/kg}$, que posteriormente

¹⁶ Lembrando que a usina nuclear comparada as outras usinas produtoras de energia, é a que produz menor volume de rejeitos.

¹⁷ Essa grandeza vale para qualquer meio e qualquer tipo de radiação.

foi substituída pelo gray Gy, onde: $1Gy = 100 Rad = 1J/kg$ (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

De acordo com Okuno e Yoshimura (2010), os efeitos biológicos são classificados de acordo com seus mecanismos de ação, podendo ser direto ou indireto, e por sua natureza, dividindo-se em efeitos determinísticos e efeitos estocásticos.

Os mecanismos de ação diretos são aqueles em que a radiação ionizante interage com a molécula de DNA, uma molécula presente no núcleo das células que carrega toda a informação genética de um organismo, danificando-o e podendo causar a morte celular. Já a ação indireta ocorre quando, ao interagir com o meio, maior parte água, ocorre a produção de radicais livres, essas moléculas que perderam elétrons (oxidadas) tendem a agredir outras moléculas na tentativa de confiscar elétrons e se tornar estáveis (OKUNO, 2013).

Em conformidade com Navarro et al.(2008), conforme o dano causado, o corpo humano possui uma capacidade de se recuperar, mas isso depende da limiar de dose¹⁸. Em razão disso o efeito determinístico acontece quando ocorre morte celular e o tecido ou órgão não consegue compensar pela reposição ou reparo desses células afetadas. Isto quer dizer que, este tipo de efeito é produzido por doses elevadas, acima do limiar, onde a severidade do dano aumenta com a dose. Com isso a probabilidade deste efeito é praticamente inexistente para valores de dose abaixo do limiar, e quase 100% acima.

Já o efeito estocástico são modificações que ocorrem na célula resultando em um câncer ou efeito hereditário. Não existe limiar de dose para que ocorra, ou seja, baixas doses podem alterar a molécula e causar esses efeitos inclusive radiação natural. Uma observação é a de que a probabilidade de que esse efeito ocorra é proporcional à dose absorvida (OKUNO, 2013).

De acordo com Guerra et al. (2005), o câncer representa um grande problema de saúde, responsável por matar milhões de pessoas no Brasil e no mundo podendo este efeito biológico ser causado pela radiação. No Brasil, na população do sexo masculino é frequente o câncer de próstata, pulmão, esôfago, estômago, colón e

¹⁸ Existe um limiar de dose, abaixo do qual a perda de células é insuficiente para prejudicar o tecido ou órgão de um modo detectável. Cada tecido possui um limiar de dose conforme sua composição química.

reto. Nas mulheres prevalece o câncer de mama, colo uterino, cólon e reto, pulmão e estômago.

O efeito hereditário causado pela radiação ocorre quando se alteram as células dos órgãos reprodutores, manifestando assim uma mutação genética, podendo ser grave ou não no descendente do indivíduo. Isso faz com que crianças possam nascer com anomalias (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

3.5 Acidentes Radiológicos

Na atualidade quando queremos medir a gravidade ou intensidade de alguma coisa ou fenômeno natural, como por exemplo, os terremotos, o fazemos através de números que caracterizam a sua intensidade. No caso dos acidentes Radiológicos também são classificados por números para apresentar à população a gravidade do evento.

Essas classificações variam de 1 a 3 como incidentes e 4 a 7 como acidentes, que se caracteriza pela existência de pelo menos uma morte causada por radiação, conforme a *International Nuclear Events Scale* (INES). Os acidentes que as pessoas do Brasil têm maior conhecimento é o de Chernobyl, em 1986, e o que ocorreu em Goiânia, em 1987, os quais foram classificados nos níveis 7 e 5, respectivamente (OKUNO, 2013).

Em Chernobyl (Ucrânia – antiga União Soviética), foi construído uma usina Nuclear, que tem por finalidade a produção de energia elétrica através de fissões de alguns elementos radioativos, neste caso o IODO. Mas, em 1986, ocorreu um acidente que entrou para a história devida sua gravidade (grau 7). Uma falha técnica ocasionou um incêndio no reator liberando uma enorme quantidade de resíduo tóxico/radioativo no ambiente. Levadas pelo vento, partículas do material chegaram à Europa Oriental contaminando animais, plantações e pessoas. O governo Soviético apenas reconheceu que ocorreu um acidente e tomou as providências adequadas quando após 48 horas o alarme de outra usina disparou a dois mil quilômetros de distância do ocorrido, isso fez com que as providências internacionais fossem tardias. Um dos efeitos biológicos em longo prazo foi quando após alguns anos verificou-se o desenvolvimento de câncer na tireoide em crianças próximas a região (MERÇON; QUADRAT, 2004).

Outro acidente radiológico ocorreu no Brasil na cidade de Goiânia-GO no qual a repercussão no país e no mundo foi grande devido ao óbito de três pessoas no mesmo ano em que a caixa que continha um material radioativo foi violada. Em 1985, o Instituto Goiano de Radioterapia foi transferido para outro local deixando um equipamento, usado na Radioterapia, que continha o elemento radioativo, nesse caso, o Césio-137. Em setembro de 1987, dois catadores de materiais recicláveis entraram no local abandonado e levaram para casa parte do equipamento de radioterapia com o intuito de desmontar e vender como sucata. A partir da violação do cabeçote que protegia o elemento radioativo dava-se início a contaminação e exposição à radiação das pessoas que chegavam perto do equipamento. Um dos donos do ferro velho ficou encantado com o pó azul e brilhante que chamou os amigos e familiares para ver. O dono de outro ferro velho levou o pó para casa onde sua filha tocou no “pó mágico” e ao comer um pão acabou ingerindo-o e contaminando-se internamente e externamente. Nesse momento, vários locais já tinham sido contaminados até que a esposa de um dos donos do ferro velho levou uma amostra em uma sacola para a vigilância sanitária alegando que aquilo que estava dentro da sacola estava fazendo mal aos seus familiares (OKUNO, 2013).

Nesse momento, as pessoas que tocaram ou ficaram algum tempo expostos ao Césio-137 já sofriam de diarreia e vômitos. A vigilância acionou um físico que confirmou se tratar de material radioativo. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) começou a agir fazendo uma varredura e medindo os níveis de radiação nas pessoas e objetos. Conforme ia investigando conseguiram mapear parte da cidade que estava contaminada. Começa então uma corrida contra o tempo para demolir e concretar tudo que estava contaminado somando um volume total de 3.500 m³ de rejeitos radioativos. Infelizmente, as pessoas não imaginavam que uma cápsula contendo um pó azul poderia ser fatal e ter causado tamanho acidente (OKUNO, 2013).

De acordo com o Goldemberg (2011), o último acidente nuclear classificado como nível-7 ocorreu em março de 2011 em Fukushima-Daiichi, localizada no Japão, quando um maremoto de alto grau provocou um Tsunami que invadiu a usina e danificou três dos seis reatores nucleares fazendo com que a usina começasse a liberar quantidades significativas de material radioativo no ar e no mar. As primeiras providências foram remover cerca de 100 mil pessoas que estava em um raio de 20

quilômetros. As causas do acidente são análogas ao ocorrido em Chernobyl que é a danificação do reator nuclear. A diferença foi que no primeiro acidente ocorreu por falha humana e neste último foi por fenômenos naturais. Mas isso provocou uma reação na comunidade local sobre continuar ou não com a produção de energia elétrica, por fontes nucleares. Para não encerrar o funcionamento da usina, o governo local usou dois argumentos citados conforme Goldemberg (2011, p.12): “1) O acidente se deve a uma combinação extremamente improvável de um terremoto de grande intensidade seguido por um tsunami de proporções inesperadas.” e “2) O número de mortes decorrentes da exposição à radioatividade foi muito pequeno, e um número muito maior de mortes ocorre em acidentes na extração de carvão.”

3.6 Proteção Radiológica

As medidas relacionadas à proteção radiológica, iniciaram-se com a inauguração da Röntgen Society, ao publicar as primeiras recomendações ao trabalhar com Raio X ou elementos radioativos. Tais recomendações foram adotadas após descobrir-se os efeitos causados pela radiação ionizante como forma de proteção. Em 1959, já se registrava um grande número de pessoas levadas a óbito devido a exposição a radiação, dentre os casos podemos citar o de Marie Curie. Um monumento erguido pela Rongten Society em 1936 homenageando todos os atingidos (NAVARRO; et al., 2008).

Para Navarro et al. (2008), em relação aos estudos sobre proteção radiológica:

Os estudos do campo da radioproteção estão relacionados à proteção da saúde humana e aos efeitos nocivos das radiações ionizantes. Suas bases teóricas devem incluir necessariamente julgamentos sociais e técnicos, pois o principal objetivo é estabelecer as razões que justifiquem o uso benéfico das radiações. Assim, não podem ser conduzidas apenas por considerações científicas. A radioproteção deve prevenir a ocorrência dos efeitos determinísticos e reduzir os efeitos estocásticos. (NAVARRO; et al., p.1042-1043, 2008).

Com o avanço do tempo e tecnológico, foi criada a *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) e posteriormente a *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), ambos os órgãos competentes em criar leis e parâmetros ao tratar de radiação ionizante. Assim, foram elaboradas normas de proteção radiológica, limites de dose e exposição ao paciente, aos funcionários e ao público em geral. Com isso, cada país possui um órgão capacitado

a criar normas internas e adaptar essas leis. No caso do Brasil, o órgão é a Comissão Nacional de Energia Nuclear –CNEN (OKUNO, 2013).

De acordo com Okuno e Yoshimura (2010), a CNEN elaborou as um livro e artigos, sendo o primeiro deles “Normas básicas de proteção radiológica” em 1973 publicado no diário oficial da União e posteriormente atualizada em 2005. Isso faz com que o Brasil possua normas que auxiliem na proteção das pessoas. Sua aplicação na indústria e na medicina inclui muitos benefícios, mas enquanto os pacientes recebem a radiação para o tratamento outros trabalhadores estão sujeitos à exposição, esses Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOEs), devem possuir regulamentos e leis que os protejam.

De acordo Navarro et al. (2008) e Okuno e Yoshimura (2010), com a publicação do ICRP-60¹⁹ revela que as proteções radiológicas se baseiam em três princípios básicos: i) a justificativa, onde nenhuma e qualquer exposição à radiação pode ser realizada se o benefício é maior que o malefício a saúde, ii) a otimização, no qual a magnitude da exposição às pessoas e a probabilidade de exposições resultem em uma dose tão baixa que possa ser comum como a radiação natural iii) da limitação de dose, em que as radiações emitidas não superem as doses recomendadas pelas organizações internacionais e nacionais. Outra meta é evitar os efeitos determinísticos (reações teciduais) e restringir a probabilidade dos efeitos estocásticos já mencionados.

A importância do treinamento dos IOEs e dos futuros profissionais é fundamental para uma boa segurança a todos que estão por perto, seja de clínicas de radiodiagnóstico, ou clínicas de tratamentos hospitalares e odontológicos. Sabendo das normas de segurança e proteção radiológica a probabilidade de acontecer um erro e uma exposição indevida diminui (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

O cidadão que já estudou as normas de proteção, provavelmente já se familiarizou com as unidades e medidas utilizadas para proteção dos indivíduos. São unidades que ao ver uma tabela de dose efetiva ou dose equivalente provocada por equipamentos faz a diferença para quem se habituou ao termo.

A seguir uma tabela que contém informações contendo os limites de doses anuais.

¹⁹ ICRP-60: Publicação 60 de 1990. Devido a ICRP publicar outras normas, o número a frente da sigla indica qual é a publicação.

Tabela 2 - A tabela contém os limites de dose anuais

Limites de Dose Anuais [a]			
Grandeza	Órgão	<i>Indivíduo ocupacionalmente exposto</i>	<i>Indivíduo do público</i>
<i>Dose efetiva</i>	Corpo inteiro	20 mSv [b]	1 mSv [c]
<i>Dose equivalente</i>	Cristalino	150 mSv	15 mSv
	Pele [d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

FONTE: (CNEN, 2004).

Outra maneira de avisar perigo é através do símbolo usado internacionalmente, que representa perigo radiológico. Tal símbolo deve estar onde possuir equipamento de fontes naturais ou artificiais de radiação. O objetivo de avisar sobre a radiação pode ser enriquecido se a pessoa compreender que a exposição é sempre menor quando se aumenta a distância da fonte, diminuindo o tempo de exposição e fazendo-se o uso de blindagem, ou seja, quanto mais colisões a radiação tiver com objetos ou outro material, mais energia ela perderá ao longo do caminho. Alguns exemplos de blindagens são uma parede, colete de chumbo, etc. (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Figura 10 - Novo símbolo elaborado em 2007 pela Agência Internacional de Energia Atômica e pela Organização Internacional da Normalização (ISSO 21482).



Fonte: (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Tais conhecimentos sobre proteção radiológica fazem com que o paciente ou acompanhante conheça seus direitos, por exemplo, ao fazer um exame de raio X ele possa solicitar o avental de plumbífero (colete de chumbo), e o técnico se proteger adequadamente no seu ambiente de trabalho. São recomendações simples que

fazem com que a eficiência da proteção alcance um grande potencial fazendo com que o qualquer trabalho com radiação seja seguro (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Em hospitais e clínicas que possuem aparelhos de tratamento e diagnóstico, em que há o uso de radiação ionizante, as salas devem estar adequadas às normas e devidamente calculadas as espessuras das paredes e portas fazendo o uso da blindagem. Além disso, para alguns aparelhos a sala deve ser construída em forma de labirinto, para que a radiação secundária tenha sua energia atenuada e não escape. Os aparelhos devem ser calibrados e inspecionados, essas medições devem ser conferidas e verificadas constantemente por meio de aparelhos radiométricos se esta dentro dos números aceitáveis pelos órgãos competentes. Para obter essas informações o hospital ou clínica médica deve ter essas informações básicas disponíveis aos pacientes e funcionários, em um local onde eles possam ver ou ter acesso (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Essas técnicas são usadas para barrar qualquer tipo de radiação, o poder de freamento de cada partícula possui uma característica própria, ou seja, nem sempre apenas chumbo e concreto podem barrar e atenuar a energia dessas partículas. Para o nêutron o determinante processo de freamento na matéria é por meio de muitos hidrogênios, isso é devido o nêutron possuir a massa parecida com a do hidrogênio fazendo com que ele transfira toda sua energia em um único choque. Sendo assim um material rico em hidrogênio é o plástico facilmente produzido (YOSHIMURA, 2009).

4. METODOLOGIA

A natureza da pesquisa é do tipo descritivo, ou seja, foi feita uma análise minuciosa e descritiva de todo o processo em estudo, com objetivo de descrever suas características. Através da coleta de dados usando um questionário e uma aula expositiva foi realizada uma abordagem quantitativa e qualitativa dos dados coletados.

A técnica usada para a coleta de dados foi através de uma pesquisa de campo realizada no Colégio da Polícia Militar de Palmas, para estudantes em processo de formação, e com outro pequeno grupo de pessoas que já haviam concluído sua formação na educação básica (sendo universitários ou egressos). Diante da entrevista com a coordenadora e conforme Projeto Político Pedagógico

(PPP) da escola, a equipe responsável por administrar 819 alunos com faixa etária entre 14 e 18 anos se dividem em 3 grupos de pessoas distribuídos em várias áreas em contendo 22 militares, 54 Professores sendo 4 professores de física e 75 Técnicos Administrativos.

A execução da metodologia sucedeu-se após um planejamento feito com o professor supervisor criando um plano de aula relacionado ao tema de radiação ionizante, escolhendo a data e a sala onde seria aplicada a metodologia. Após o planejamento, as atividades foram executadas em três turmas de segunda série e duas turmas de terceira série do ensino médio no período de estágio supervisionado, totalizando em 95 estudantes entrevistados nesse campo. Em relação ao público formado por pessoas que já haviam concluído formação em educação básica, foram entrevistadas 20 pessoas em diversos estabelecimentos de ensino superior públicos ou privados, sendo formado por pessoas em formação ou egressos, que responderam o questionário por meio da plataforma Google de questionários.

A aplicação do questionário realizou-se em sala de aula, onde o aluno responderia as questões individualmente e sem consulta, sendo que foram desconsiderados eventuais questionários que não se adequassem à essa regra. Após 20 minutos com os questionários recolhidos foi ministrada uma aula sobre radiação ionizante, utilizando-se recursos didáticos através de um notebook e Datashow. Os slides foram elaborados conforme as perguntas respondidas onde o pesquisador realizou debates e intervenções para sanar eventuais dúvidas conforme o andamento da apresentação. Também faziam parte dessa apresentação a exibição de simulações e vídeos correlacionados ao tema.

Com o propósito de buscar ensinar os estudantes sobre radiação ionizante e avaliar de alguma forma o conhecimento prévio que eles possuíam sobre o tema, foi elaborado um questionário²⁰ com 24 perguntas divididas em três grupos:

1 - Informações Gerais:

Consiste nas perguntas de 1 a 5 em que separam os alunos por sexo, faixa de idade, modalidade de estabelecimento onde cursou/cursa ensino médio (público ou privado), último curso que concluiu (quando pertinente) e qual das áreas de ciência a pessoa se identifica.

²⁰ O modelo do questionário está localizado no Apêndice.

2- Quais os termos o entrevistado conhece

As questões de 6 a 12 contêm um termo básico da física em cada pergunta. Tais termos estão presentes no conteúdo de física das radiações em geral. Os seis termos identificados no questionário tinham três opções de respostas disponíveis, sendo apenas uma delas a correta. Ao final dos termos tem uma pergunta no formato de relacionar o termo com as definições corretas, isso foi feito para que confirmasse se realmente a pessoa conhece o termo identificado.

3 – Conhecimentos gerais

No grupo de perguntas de número 13 a 24, abordou-se sobre radiação em geral, algumas perguntas do tipo de opinião, outras para avaliar a falta do conhecimento científico e o a presença do senso comum.

Após a realização da atividade acima descrita, foi feito um levantamento dos dados colhidos a campo, fazendo uma estatística básica sobre o conhecimento que os participantes possuem sobre radiação ionizante correlacionando os resultados com a literatura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira etapa de perguntas foi designada para obter informações gerais das pessoas que participaram da pesquisa. Pode-se observar pelo gráfico 1 que dos participantes, 52,2% são do sexo masculino e 47,8% do sexo feminino, revelando-se uma distribuição praticamente uniforme.

As perguntas sobre faixa de idade, ensino médio e escolaridade tinham uma disparidade devido à entrevista ter sido feito com 95 alunos do Colégio Militar, isso faz com que certos grupos de respostas predominam sobre o restante, conforme os gráficos de 1 a 4.

1. SEXO:

115 respostas

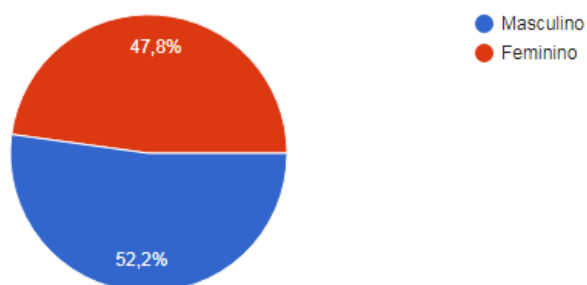


Gráfico 1- Sexo dos entrevistados.

2. Faixa de idade:

115 respostas

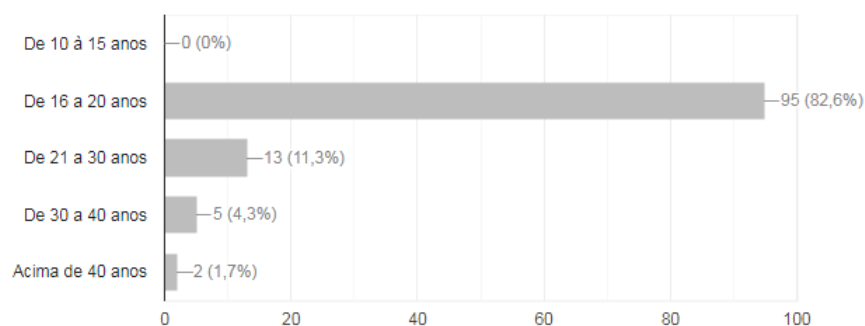


Gráfico 2 - Faixa de idade dos entrevistados.

3. Ensino Médio:

115 respostas

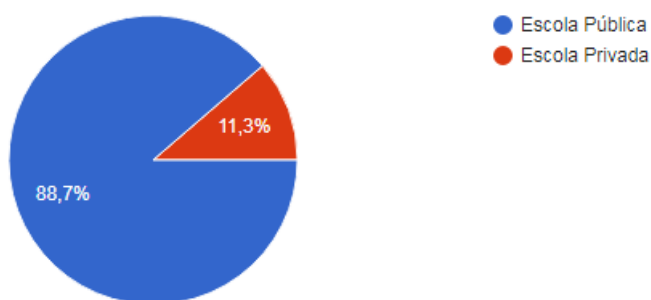


Gráfico 3 - Ensino Médio Público ou Privado dos entrevistados.

4. Escolaridade:

115 respostas

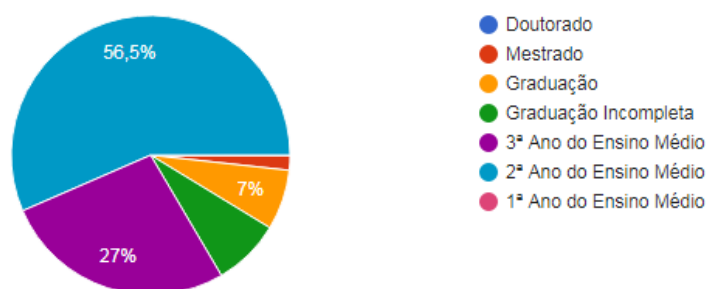


Gráfico 4 – Escolaridade dos entrevistados.

Para finalizar a primeira etapa de informações básicas, foi realizada uma pergunta de número 5 que diz: “Você gosta de ciências? Se sim qual dessas áreas se identifica?”, para saber o interesse pelo conteúdo de ciências de acordo com o gráfico 5. E, com isso, revela-se que apenas 10 pessoas selecionaram “Sim, física” e 20 pessoas “Sim, Todas”, representando 8,7% e 17,4% respectivamente.

Isso demonstra a importância de se buscarem estratégias e tornar o ensino de física prazeroso, dinâmico e interativo para atrair os jovens para essa linha de conhecimento. É interessante fazer com que os estudantes e pessoas percebam que a física está presente em nossas vidas desde as coisas simples até a tecnologia de última geração. Por isso, a capacitação de professores e equipe pedagógica é de suma importância para que alcance o resultado desejável e possa mudar a concepção que a física é uma disciplina tenebrosa, formada apenas por cálculos complexos.

5. Você gosta de Ciências? Se sim qual dessas áreas se identifica?

115 respostas

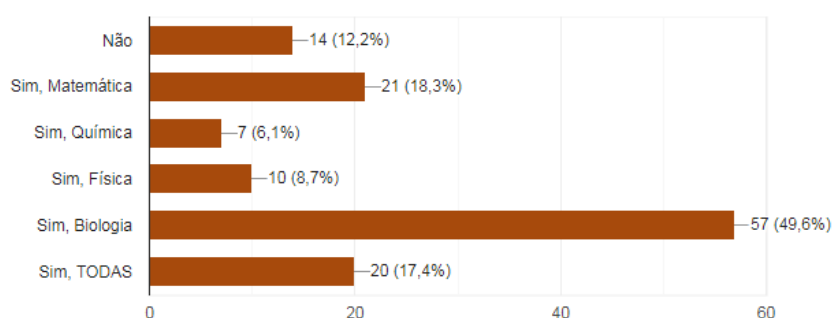


Gráfico 5 - Demonstra o interesse que a pessoa tem em diversas áreas do ensino de ciências.

Para a segunda etapa, foram elaboradas 6 perguntas para ver se o entrevistado, de modo espontâneo, identificava alguns termos que estão presentes no assunto de radiação ionizante. Cada pergunta continha um único termo específico, sendo eles: fótons, comprimento de onda, espectro eletromagnético, radiação ionizante, raio X e raios gama. Desta forma, o entrevistado tinha a opção de marcar três respostas, onde a primeira diz que conhece o termo e sabe do que se trata, outra opção é que conhece o termo, entretanto apenas ouviu falar e a terceira resposta é que não conhece o termo.

Verificou-se que apenas as definições de comprimento de onda, raio X e raios gama corresponderam 73%, 76,5% e 56,5% respectivamente a alternativa em que o entrevistado sabia do que se tratava. Conforme se pode observar no gráfico 6, uma análise da segunda alternativa que diz “Sim, já ouvi falar” os termos que obtiveram um resultado igual ou acima de 40% foram os fótons, espectro eletromagnético e radiação ionizante, indicando assim. Foi constatado ainda que, com exceção dos raios X e comprimento de onda, as respostas que afirmavam desconhecimento do termo ficaram em torno de 20%.

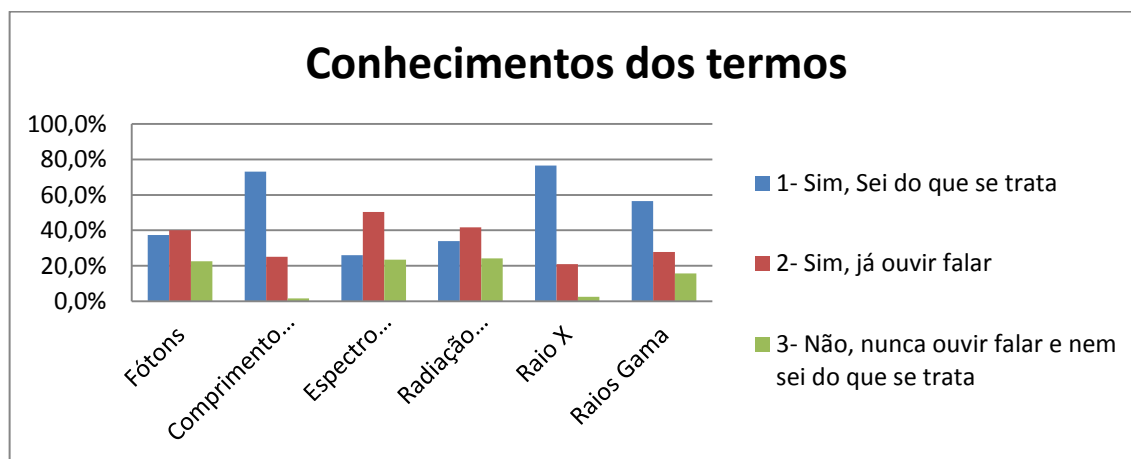


Gráfico 6 - Relação de conhecimento dos termos.

Para saber se realmente o entrevistado possuía conhecimento sobre os termos, ou seja, uma confirmação. Para esse fim, foi elaborada a pergunta de número 12 na qual era possível relacionar os termos com sua respectiva definição e assim confrontando com as respostas marcadas referente a cada termo ilustrado no gráfico 6. É esperado que as pessoas que marcaram a opção 1 referente aos termos comprimento de onda, raio X e raios Gama acertassem proporcionalmente as

definições respectivas e assim confirmando que os entrevistados de fato, demonstraram saber do que se tratavam esses termos.

Ao comparar os gráficos 6 e 7 percebemos que os entrevistados que marcaram a opção “sim, sei do que se trata” quando se referiam a comprimento de onda correspondendo a 73%, também acertaram a definição do termo em 79,1%, ou seja, apenas esse termo foi proporcional, isso pode ser que o grande número de acertos dos estudantes devem estar relacionado ao conteúdo de ondulatória que é presente no currículo de física.

Uma análise minuciosa desses dados é que a grande maioria dos entrevistados marcou uma opção sabendo do que se tratava o raio X e desconhecem comprimento de onda ou radiação ionizante. Todos esses termos possuem relações entre eles e são relacionados com o mesmo conteúdo. Com isso, as divergências e a falta de conhecimento do conteúdo de radiação geral e ionizante são evidentes.

As observações durante a aula expositiva mostram que ao perguntar para os estudante o que é raio X, a maioria que respondeu que o raio X está relacionado com o aparelho ou com o nome do exame presente nos hospitais e clínicas. E poucos realmente falaram do que realmente tratava-se, ou seja, uma forma de radiação eletromagnética ionizante. Mas eles não estão errados em associar a definição com o aparelho de diagnóstico, pois é o mesmo nome usado em clínicas, consultórios e hospitais. Com isso, podemos relacionar esse conhecimento com o senso comum acumulado ao longo da vida e adquirido de geração em geração, um saber que não se baseia em métodos ou conclusões científicas.

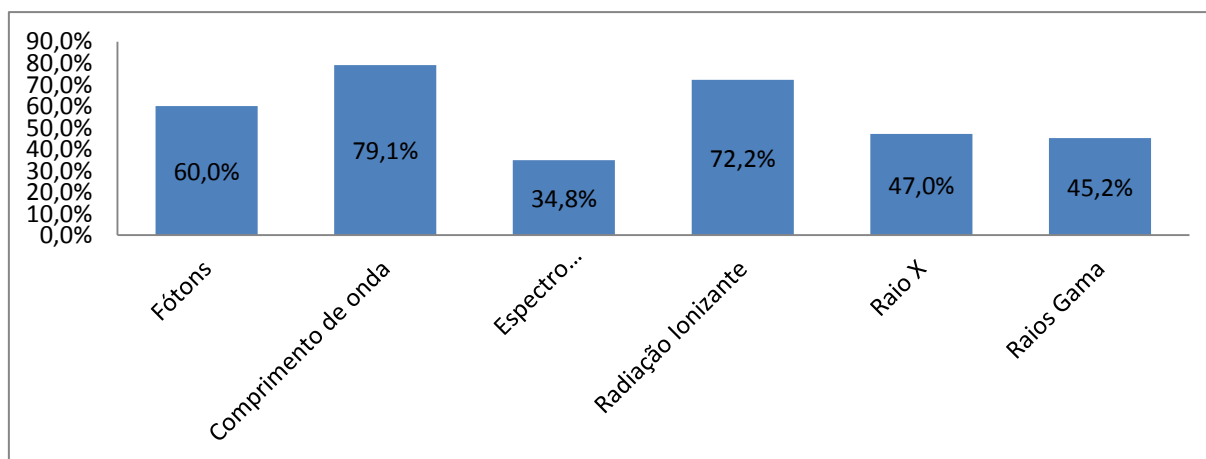


Gráfico 7 - Relação de acertos dos termos com suas respectivas definições.

A terceira etapa do questionário contém perguntas relacionadas aos conhecimentos gerais envolvendo radiação ionizante verificando a opinião e a compreensão da temática. Vamos verificar e analisar a seguir as perguntas de número 13 a 24.

Questão 13: Você conhece algum acidente radiológico?

O gráfico a seguir contém informações se o entrevistado conheceu algum acidente radiológico ou não. Além de poder verificar se conhecia algum acidente, o entrevistado podia informar caso lembrasse algum. Foi considerado marcar a opção “Sim, conheço” e não informar o nenhum nome de acidentes relacionados.

O gráfico 8 corresponde ao número de entrevistados que conhecem ou não algum acidente radiológico. Com isso, temos que 77% das pessoas marcaram que conhecem e 23 % marcaram a opção que desconhecem algum acidente causado por radiação ionizante. Em seguida o gráfico 9 foi elaborado de acordo com os acidentes citados por cada entrevistado.

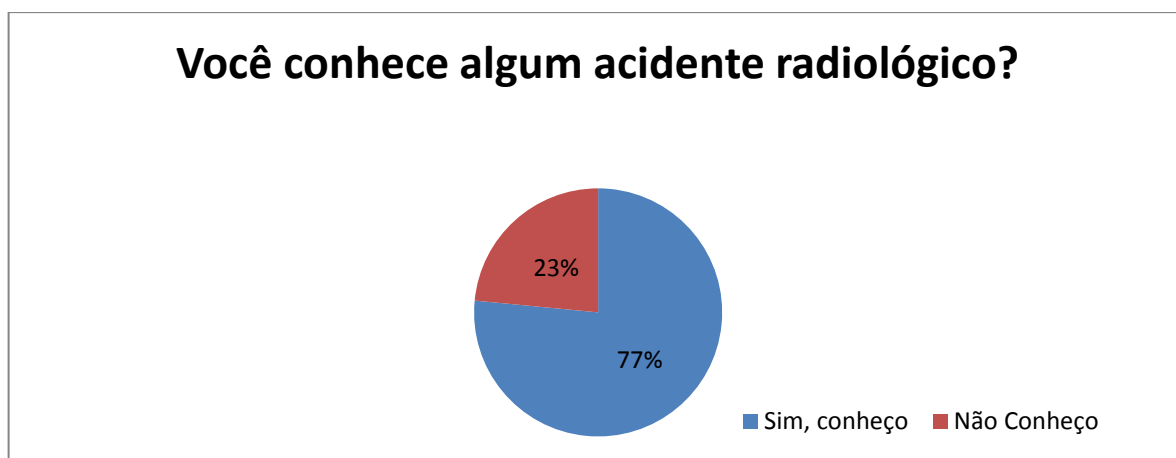


Gráfico 8 – Relação de entrevistados que conhecem ou não algum acidente radiológico.

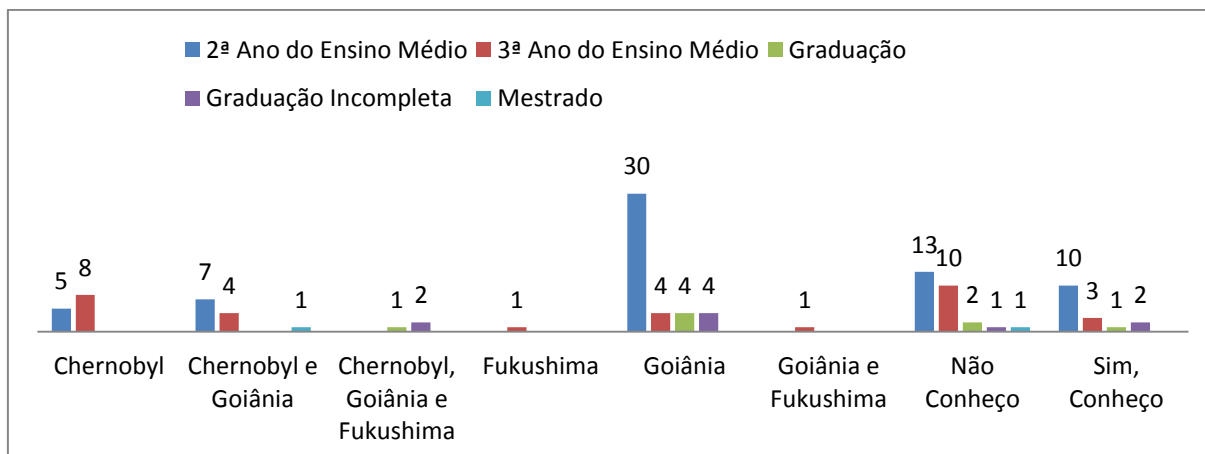


Gráfico 9 - Relação de conhecimento das pessoas sobre os acidentes nucleares.

O gráfico 9 revela que a maioria dos entrevistados recordam o acidente de Goiânia e que aproximadamente 23% não conheciam nenhum acidente. Os outros acidentes de Chernobyl e Fukushima são poucos citados comparados a Goiânia. E 13,9% disseram que conheciam algum acidente e não citaram nenhum.

Questão 14: Você saberia se defender de um acidente radiológico?

Devido ao crescimento da presença das usinas nucleares e do armamento militar pode-se haver um aumento na probabilidade de ocorrer novos acidentes nucleares. O gráfico 10 exibe as respostas dos entrevistados, sendo que cerca de 78% responderam que não sabem se proteger. Quem respondeu que sabe se proteger, escolheu a distância como meio de proteção representando 15,65%.

Devido aos acidentes e guerras ocorridas no passado é preocupante o desconhecimento sobre proteção radiológica em um mundo que possui rápido acesso a informação. O desconhecimento dos meios para se salvar e proteger sua família faz com que elas tendem ao senso comum (OKUNO, 2013). No gráfico 10, pode-se observar ainda que algumas pessoas citaram chumbo ou barreiras, mas como adquirir esses materiais se não conhecem os tipos de radiações e nem como blindar sua propagação.

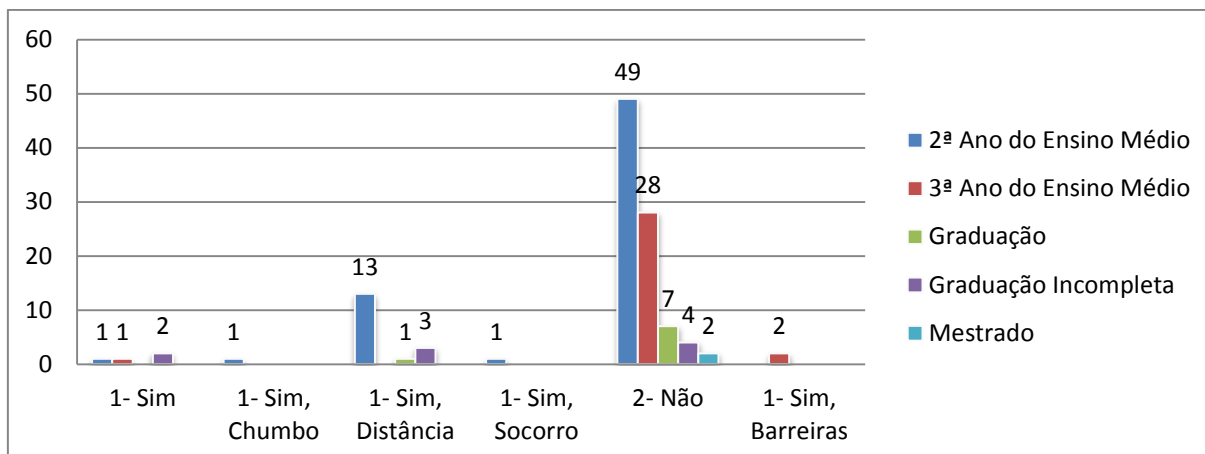


Gráfico 10 - Se o entrevistado sabe se defender de um acidente radiológico

Questão 15: Você tem medo de radiação em geral? / Questão 16: E medo de radiação ionizante?

As perguntas 15 e 16 são semelhantes, mas com sentidos diferentes. Analisando as respostas, percebemos que várias pessoas tem medo de radiação em geral correspondendo a 66,1%, em contrapartida 33,9% que dizem não ter esse medo. Em nosso dia a dia somos expostos a diferentes tipos de radiações como: ondas de rádio, micro-ondas, raios UV, etc. O medo das pessoas está associado ao nome e não ao malefício, muitas delas possuem o aparelho de micro-ondas e usam diferentes tipos de lâmpadas em casa e nem por isso as deixam de usar por medo.

15- Você tem medo de radiação em geral?

115 respostas

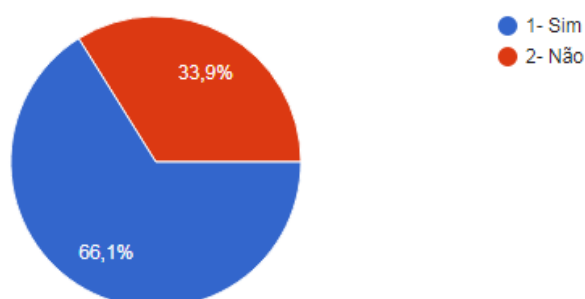


Gráfico 11 - Porcentagem das pessoas que têm medo de radiação em geral.

A pergunta 16 questiona os entrevistados se possuem medo de radiação ionizante. Com isso, o gráfico 12 revela que 67% responderam que sim e 33% que não. O fato é que os exames que são comuns nas redes públicas e privadas, como o exame de Raio X e outros aparelhos que emitem radiação ionizante, são de suma

importância na medicina tanto em diagnósticos como em tratamentos. No entanto, a radiação ionizante tem um grau de periculosidade, mas sabendo como usar essa radiação em benefício da humanidade seguindo as normas e condutas o perigo diminui drasticamente.

Assim o medo da radiação, também chamado de radiofobia, esta relacionada com acontecimentos históricos e por razões psicológicas. As pessoas tendem a assumir que é perigoso qualquer tipo de exposição à radiação independente da dose, da natureza e da via de exposição, ou seja, radiação é igual ao perigo (DAMASIO; TAVARES, 2017).

Esse contexto histórico também é repassado para a sociedade através de filmes, literatura ou obras de ficção ou não, mas que transmite algo perigoso. Como as guerras nucleares ou até mesmo mutações em pessoas que foram expostos a radiação. E que em algum momento, o contato com a radiação por menor que seja, podemos contrair doenças como o câncer, levando sempre a morte. Portanto o conhecimento que permite apresentar os benefícios e malefícios do uso da radiação permite ao individuo tirar algumas dúvidas e deixar de lado o senso comum relacionado (DAMASIO; TAVARES, 2017).

16 - E medo de radiação ionizante?

115 respostas

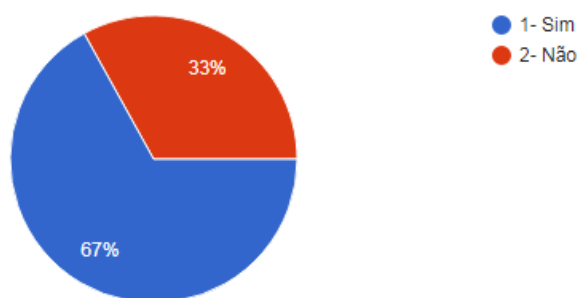


Gráfico 12 - Porcentagem das pessoas que têm medo de radiação ionizante.

Questão 17: Você já fez algum exame de radiodiagnóstico?

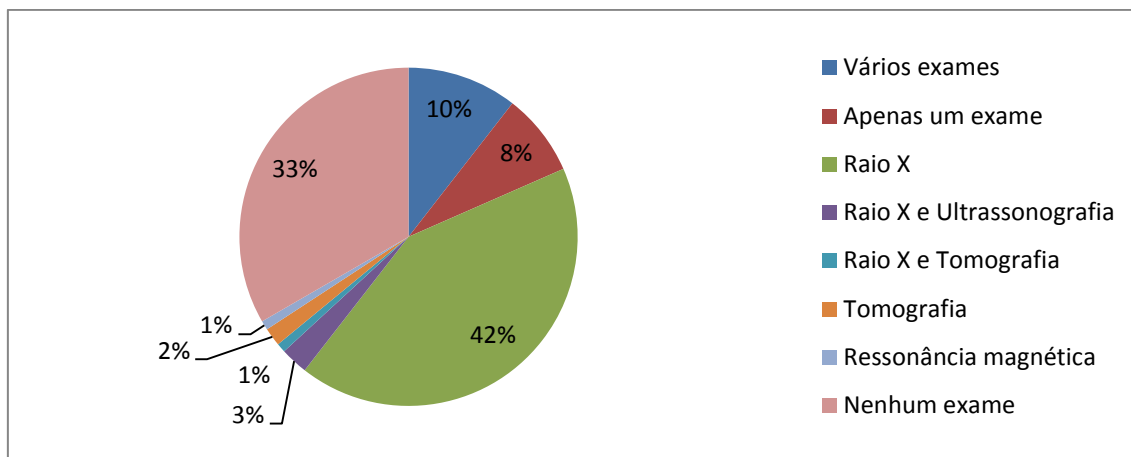


Gráfico 13 - Exames de radiodiagnósticos realizados.

Os entrevistados que responderam “Vários exames” e “Apenas um exame” não registraram no questionário quais exames eles fizeram representando 18%. Do gráfico 13, vemos que 42% dos participantes respondeu que realizou pelo menos o exame de raio X. E 33% disseram que não realizaram nenhum exame de radiodiagnóstico. Devido no início do questionário informar o termo raio X, o resultado pode ter sido influenciado pelas primeiras perguntas onde raio X está presente.

No decorrer da aula expositiva foi constatado que alguns estudantes apresentavam dúvidas em relação ao radiodiagnóstico em quais aparelhos emitiam ou não radiação ionizante. Ao saber da diferença alguns alunos ficaram surpresos, pois nem imaginavam que estavam expostos e outros pensavam que todos os aparelhos emitiam radiação ionizante.

O intuito de acrescentar esse assunto na grade curricular em física do ensino médio é relacionar assuntos abordados nas aulas com os conceitos presentes nos aparelhos e distinguindo quais possuem energia o suficiente para ionizar e quais não possuem. O foco do trabalho não é ensinar o funcionamento detalhado com todas as técnicas presentes no aparelho e sim explicar um funcionamento básico de como ocorre a interação das partículas para a formação da imagem, explicando também porque os equipamentos fornecem imagens com interpretações variadas, ou seja, uma imagem pode ser anatômica e outra imagem pode mostrar o funcionamento fisiológico do ser humano.

Questão 18: Você conhece algum protetor radiológico?

Nesta pergunta, 51,3% dos entrevistados nunca ouviram falar e nem sabem do que se trata. Apenas 14,7% responderam um tipo de protetor radiológico. E 20% responderam que sim e não citaram nenhum protetor.

Nos hospitais, ao realizar um exame ou fazer um tratamento de radioterapia, existem protetores para que os pacientes e funcionários possam usar e se proteger de regiões onde não é conveniente a absorção da radiação. Esse conhecimento é considerável, uma vez que muitos pacientes ou até mesmo futuros profissionais perdem o seu direito de se proteger.

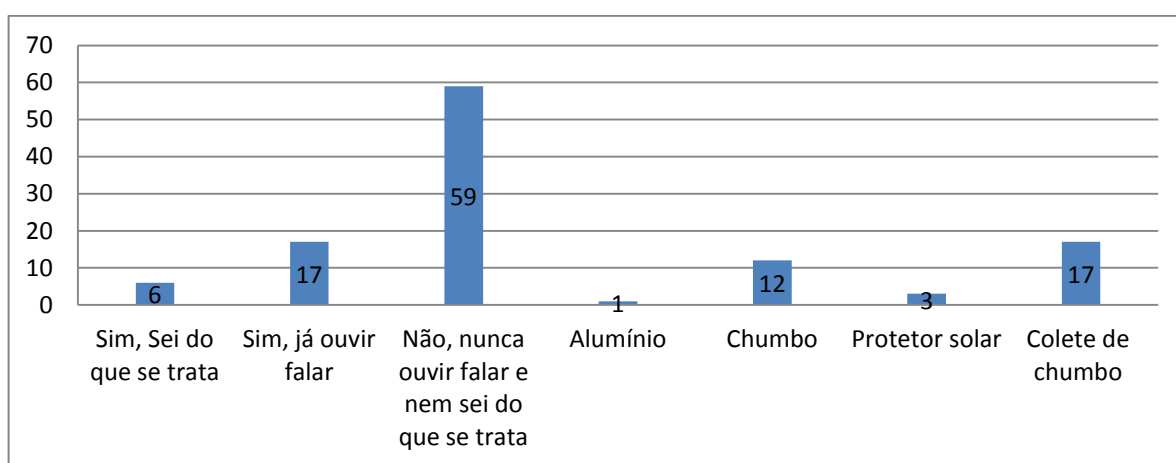


Gráfico 14 - Relação dos entrevistados que conhecem algum tipo de protetor radiológico.

Questão 19: Você conhece ou já ouviu falar em algum medidor de radiação?

Averiguando o gráfico 15 que representa a quantidade de entrevistados que conhecem algum medidor de radiação exibe uma quantidade de 48% que não conhecem e nem sabe do que se trata e 44% responderam que conhecem mas não especificaram.

O contador tem como função principal medir a radiação presente e sua intensidade, o mais conhecido entre a comunidade científica é o contador Geiger²¹, muito utilizado para prevenção e calibração de equipamentos hospitalares. Apenas 1% aproximadamente respondeu sobre o dosímetro, no qual este aparelho que

²¹ Aparelho inventado por Hans Geiger com intuito de medir a intensidade da radiação.

também é um modo de proteção para os trabalhadores da área, e que monitora a radiação absorvida em condição do seu trabalho envolvendo radiação ionizante.

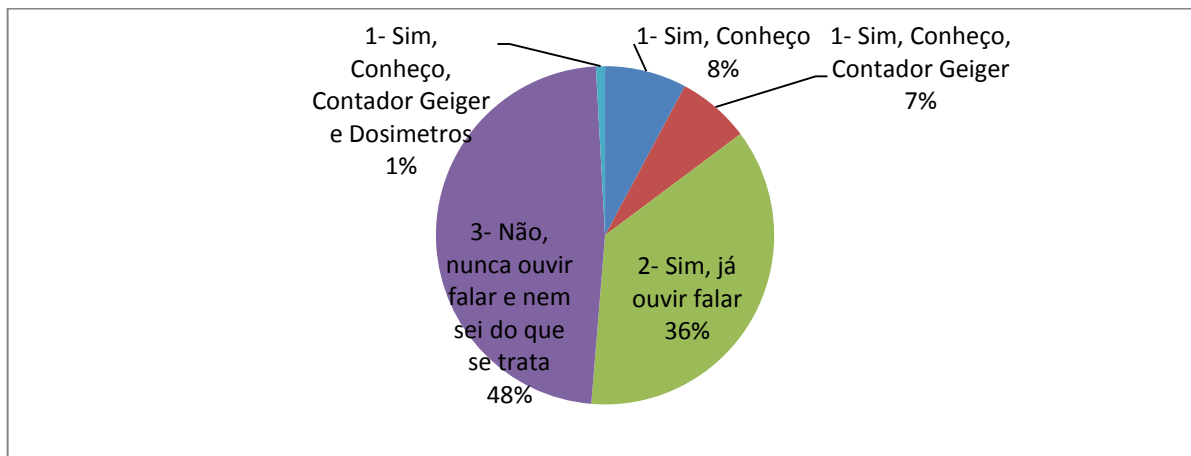


Gráfico 15 - Porcentagem de pessoas que conhecem um medidor de radiação.

Questão 20: Você conhece algum efeito biológico causado pela radiação ionizante?

Conhecer os efeitos biológicos também é importante, pois é uma forma de saber o risco de ser exposta a radiação. Entretanto 66,08% responderam que desconhece algum efeito biológico causado pela radiação, 12,17% que pode ocorrer mutação genética, 6,08% que pode ocorrer câncer, 9,56% disseram que conhecem algum efeito, mas não descreveram.

Esses resultados reforçam a importância de ensinar sobre os efeitos biológicos causados pela radiação. Pois os profissionais ou pacientes expostos devem saber dos riscos que a radiação causa e com isso se precaver da maneira correta. Se as pessoas compreendessem um pouco sobre esse assunto na época do acidente radiológico de Goiânia, este poderia ter sido evitado ou tornado menos grave o ocorrido, salvando vidas.

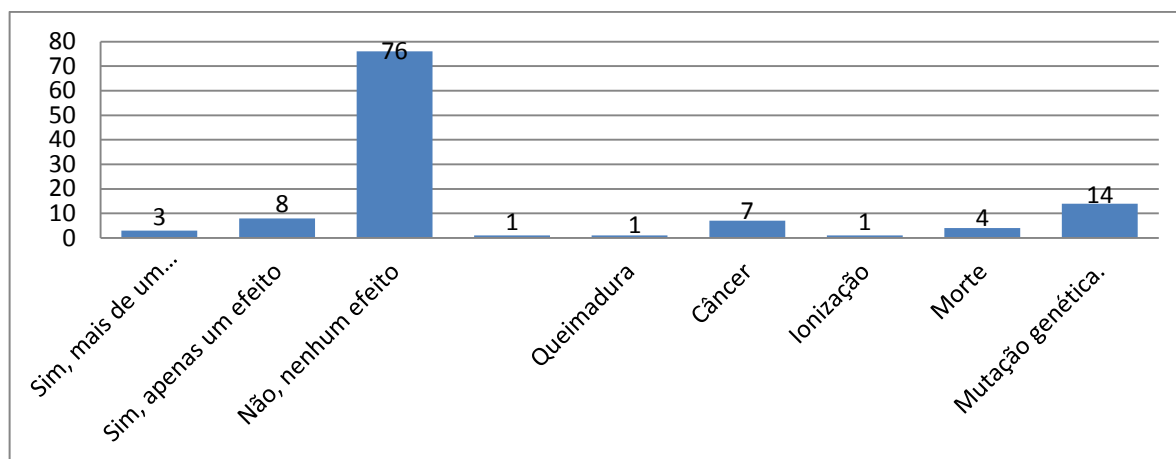


Gráfico 16 - Relação de pessoas que conhecem algum efeito biológico causado por radiação ionizante.

Questão 21: Você considera a radiação ionizante algo bom ou ruim?

Essa pergunta revela a opinião dos entrevistados em dizer se considera a radiação ionizante algo bom ou ruim. Com isso 15,7% declaram que é bom, 13,9% consideram a radiação como ruim e 70,4% não souberam responder, conforme o gráfico 17.

Para facilitar responder essa pergunta é preciso colocar em “cheque” os efeitos e riscos com os benefícios e melhorias que teremos para a sociedade. Já sabemos que a radiação causa muitos efeitos biológicos devido a acidentes radiológicos, guerras nucleares, etc. E também conhecemos os avanços da medicina, indústria e produção de energia devido à descoberta da radiação ionizante que oferece grandes benefícios. Apesar de ser uma pergunta de opinião, ao entender o conteúdo apresentado pode-se assim melhorar esses dados em que a maioria não soube responder.

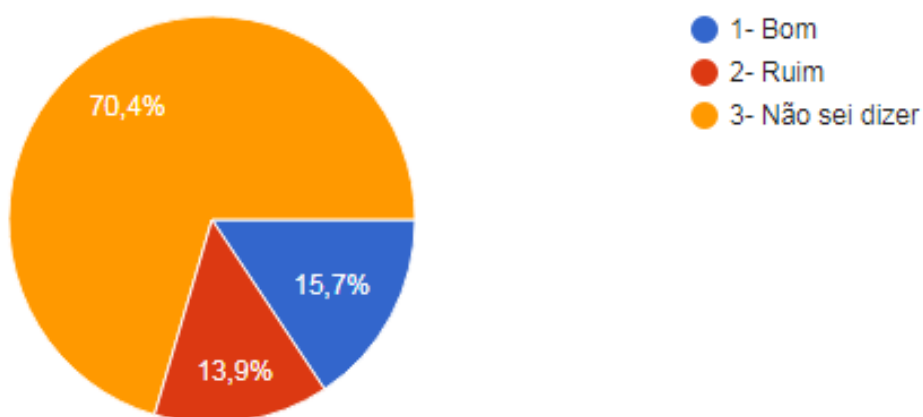


Gráfico 17 - Opinião dos entrevistados se a radiação é algo bom ou ruim.

Questão 22: Sabe dos benefícios que a radiação ionizante pode ter?

Essa pergunta está relacionada à pergunta anterior e confirma o desconhecimento das aplicações da radiação ionizante. Com 97 entrevistados representando 84,3% responderam que desconhece algum benefício. E poucas pessoas responderam aplicação na medicina como os exames médicos, tratamentos de radioterapia, produção de energia. Confirmando assim que sem conhecer suas aplicações dificulta-se a escolha em dizer se a radiação é algo bom ou ruim.

Existem variados tipos de benefícios que podem ser ensinados na escola. O aluno vai ser capaz de relacionar a radiação a todos os segmentos e não apenas na medicina, mas também vai associar as indústrias, produção de energia e laboratórios.

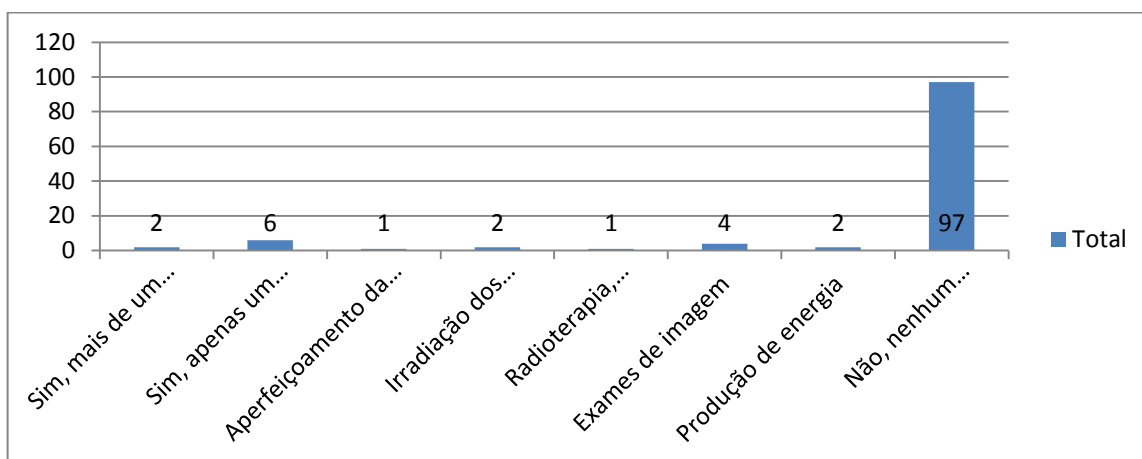


Gráfico 18 - Representa a quantidade de entrevistados que conhecem algum tipo de benefício da radiação.

Questão 23: Quais desses aparelhos emite radiação ionizante, pode marcar mais de uma opção se achar necessário:

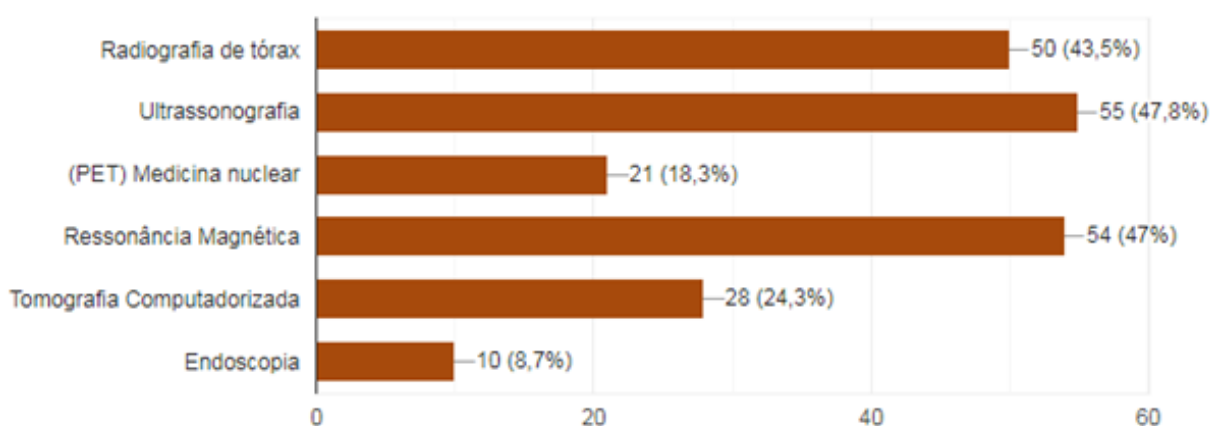


Gráfico 19 - Relação de entrevistados que conhecem quais os aparelhos que emitem radiação.

É comum na vida de uma pessoa realizar certo tipo de exame. Dentre esses exames nem todos emitem radiação, portanto os aparelhos ou exames que são passíveis de emitir radiação é “Radiografia de tórax”, “(PET) Medicina Nuclear” e “Tomografia Computadorizada”. Analisando as respostas temos que 47,8% responderam Ultrassonografia, 47% Ressonância Magnética e 8,7% endoscopia emitem radiação ionizante. Esses dados revelam a importância de conhecer sobre os aparelhos em que algum dia poderá efetuar algum exame.

Muitos possuem dúvidas sobre a ressonância magnética pensando que esse emite radiação ionizante caindo assim em um erro popular.

Questão 24: Você já estudou o conteúdo sobre radiação ionizante e proteção radiológica no Ensino Médio?

Essa pergunta tem como finalidade encerrar o questionário e computar quantos entrevistados estudaram sobre esse assunto. Verificamos que 66,1% não estudaram enquanto que 33,9% responderam não ter estudado sobre essa temática, conforme o gráfico 20. Apesar da pergunta ser simples, ela revela a importância de introduzir esse conteúdo em física no ensino médio. Mediante o conhecimento de todas as perguntas anteriores em que a maior parte das pessoas desconhece os termos, sobre a história dos acidentes radiológicos, efeitos biológicos, meios de proteção e suas aplicações.

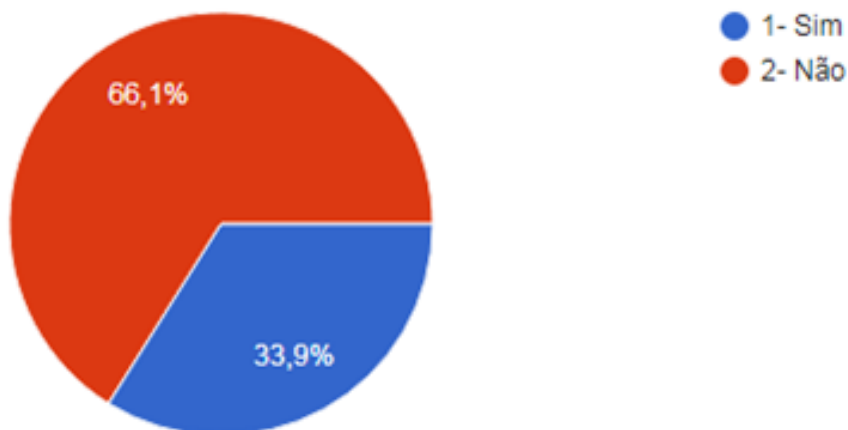


Gráfico 20 - Porcentagem dos entrevistados que estudaram o conteúdo de radiação ionizante e proteção radiológica no ensino médio.

No geral, os resultados mostraram que, o questionário juntamente com as observações realizadas durante as aulas confirmou que os alunos desconhecem os termos científicos, as definições, alguns acidentes, os efeitos biológicos, as aplicações na atualidade e a proteção radiológica, ou seja, possuem pouco conhecimento prévio relacionada a radiação ionizante.

Com isso a aprendizagem sobre radiação ionizante deve ocorrer de forma mecânica para que ao aprofundar no tema, os estudantes possam adquirir novos conhecimentos através uma aprendizagem significativa.

Apesar dos resultados demonstrarem um índice baixo de conhecimento, a participação da turma foi grande, sanando suas dúvidas e respondendo a perguntas elaboradas, estabelecendo diálogo com o professor e com seus colegas, demonstrando o interesse em aprender algo que está relacionado com os tempos atuais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O professor de física tem buscado alternativas metodológicas para que os alunos pudessem interagir e aprender o conteúdo ensinado. Dentre essas alternativas a apresentação utilizando *slides* e simuladores está presente para complementar e auxiliar o docente. A cada ano que passa novos métodos são criados e desenvolvidos voltados para o ensino. Para isso, um bom planejamento de

aula dispondo dos documentos como a BNCC e o PCN é relevante para que o professor se organize para ministrar uma aula.

Tendo em vista essa mudança feita na BNCC e nos PCN no segundo semestre de 2018, visualizamos a importância da Física das radiações como um componente da física moderna. Mas as habilidades que envolvem física das radiações demonstram que faltam detalhes de como vai ser discutido esse assunto no ensino médio, ou seja, falta complementar o currículo no âmbito que envolve física moderna.

Dessa forma, todos os tópicos mencionados envolvendo a radiação são importantes, pois estão interligados. Não tem como entender de proteção radiológica sem entender o seus efeitos biológicos e nem como conhecer sobre aplicação na contemporaneidade sem saber dos tipos de radiações existentes.

O questionário conseguiu revelar o quanto as pessoas precisam conhecer sobre radiação, onde foi evidenciada a falta do conhecimento sobre os termos científicos e despreparo em caso de algum acidente. Os resultados retratam que esses saberes proporcionam aos estudantes um desenvolvimento das capacidades cognitivas no âmbito científico-tecnológico, oferecendo condições para que eles possam transmitir o conhecimento para outros indivíduos e assim poder usufruir dos seus direitos.

Além disso, a proposta concreta não é apenas ensinar física das radiações no ensino médio, essa ideia pode projetar possibilidades de exemplificar alguns conceitos da física quântica e relatividade restrita.

Em virtude dos fatos mencionados, ao apresentarmos conteúdos sobre radiação ionizante com qualidade, constatamos que os objetivos foram alcançados. E esperamos que os professores criem ânimo para ensinar o sobre esse tema que possui grandes possibilidades de conhecer o mundo macroscópico e microscópico. Que os alunos desbravem e desfrutem desse novo conhecimento. A física das radiações é um conteúdo que pode salvar vidas como desenvolver o interesse e criatividade do estudante para a área tecnológica.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ABFM. **Portal da Associação Brasileira de Física Médica**. Disponível em: <<http://www.abfm.org.br/>>. Acessado em: 10 Jan. 2018.
2. ARANHA, Maria Lúcia de Arruda. **História da educação**. Moderna, 1994.
3. AUSUBEL, David P. **A aprendizagem significativa**. São Paulo: Moraes, 1982.
4. BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Educação é a Base. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2019. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/bncc-20dez-site.pdf>>. Acesso em: 10 Jan. 2019.
5. BRASIL. Decreto-lei Nº 9.394, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Brasília, 20 de dezembro de 1996; 175º da Independência e 108º da República.
6. BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais - PCN**: Brasília, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/expansao-da-rede-federal/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>> Acesso em: 10 Jan. 2019
7. CARDOSO, Stenio Octávio de Oliveira; DICKMAN, Adriana Gomes. **Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, p. 891-934, 2012.
8. CHEVALLARD, Yves. **Sobre a teoria da transposição didática: algumas considerações introdutórias**. Revista de Educação, Ciências e Matemática, v. 3, n.2, 2014.
9. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN. **Diretrizes básicas de proteção radiológica**. Norma CNEN-NN-3.01, 2004.
10. DAMASIO, Felipe; TAVARES, Aline. **Perdendo o medo da radioatividade: pelo menos o medo de entendê-la**. Autores Associados, 2017.
11. FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17ª. Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, v. 3, 1987.
12. GOLDEMBERG, José. **O futuro da energia nuclear**. Revista USP, n. 91, p. 6-15, 2011.
13. GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, IPS de. **A energia nuclear**. Ciência hoje, v. 37, n. 220, 2005.

14. GUERRA, Maximiliano Ribeiro et al. **Risco de câncer no Brasil: tendências e estudos epidemiológicos mais recentes**. Rev bras cancerol, v. 51, n. 3, p. 227-34, 2005.
15. GUIDOLIN, Rosalvo et al. **Esterilização de soros e vacinas por radiação gama de Cobalto**. Revista de Saúde Pública, v. 22, p. 113-117, 1988.
16. GURGEL, Paulo Henrique; BARBOSA, Ellen Francine; BRANCO, Kalinka Castelo. **A ferramenta Netkit e a virtualização aplicada ao ensino e aprendizagem de redes de computadores**. In: XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC). 2012.
17. HECKLER, V.; SARAIVA, M. F. O; FILHO, K. S.O. **Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(2), 267–273. (2007).
18. IPEN. **Irradiação de alimentos**. Disponível em : <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=731>. Acesso em: 10 Dez. 2018.
19. LOPES, Maria do Carmo. **Um século de terapia com Radiação**. Revista Gazeta da Física, v. 30, 2007.
20. LOPES, Marina. **Desafios e caminhos para a formação de professores no Brasil**. Inovações em Educação (<http://porvir.org/inovacoes-em-educacao>), 2015.
21. MARQUES, Deividi Marcio; CALUZI, João José. **Ensino de Química e História da Ciência: o modelo atômico de Rutherford**. 4ª ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS–ABRAPEC, Bauru, 2003.
22. MARTINS, R. de A. **As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos**. Revista da SBHC, v. 1, p. 29-41, 2003.
23. MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha Viz. **A radioatividade e a história do tempo presente**. *Química Nova na Escola*, v. 19, p. 27-30, 2004.
24. MORIYA, Takachi; MÓDENA, Jose Luiz Pimenta. **Assepsia e antissepsia: técnicas de esterilização**. *Medicina (Ribeirao Preto. Online)*, v. 41, n. 3, p. 265-273, 2008.
25. NAVARRO, Marcus Vinicius Teixeira et al. **Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica**. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 15, n. 4, 2008.
26. NUNES, Anderson Lupo. **A FÍSICA QUÂNTICA PARA TODOS**. Simpósio Nacional de Ensino de Física, XVII, 2007.

27. OKUNO, E. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia.** estudos avançados, v. 27, n. 77, p. 185, 2013.
28. OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
29. PEDUZZI, Luiz OQ. **Do átomo grego ao átomo de Bohr.** Florianópolis: Departamento de Física/UFSC, 2005.
30. PELIZZARI, Adriana et al. **Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel.** revista PEC, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.
31. RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 3: eletromagnetismo.** LTC–Livros Técnicos e Científicos Editora SA, p. 163-164, 1996.
32. RICARDO, Elio Carlos. **Problematização e contextualização no ensino de física.** Ensino de Física. São Paulo: Cengage Learning, p. 29-48, 2010.
33. ROBILOTTA, Cecil Chow. **A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira.** Revista Panamericana de Salud Pública, v. 20, p. 134-142, 2006.
34. SASSERON, Lúcia Helena. **Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino de física.** São Paulo: Cengage Learning, 2010.
35. SCAFF, Luiz AM. **Física da radioterapia.** São Paulo: Sarvier; 1997.
36. SERRANO, Agostinho; ENGEL, Vivian. **Uso de simuladores no ensino de física: um estudo da produção gestual de estudantes universitários.** RENOTE, v. 10, n. 1, 2012.
37. SOUSA, Wellington Batista; PIETROCOLA, Maurício; UETA, Nobuko. **Física das Radiações: uma proposta para o Ensino Médio.** 2007.
38. TAVARES, Romero. **Aprendizagem significativa.** Revista conceitos, v. 55, n. 10, 2004.
39. YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das Radiações: interação da radiação com a matéria.** Revista Brasileira de Física Médica, v. 3, n. 1, p. 57-67, 2009.

8. ANEXOS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Palmas, 21 de novembro de 2018.

Termo de autorização

Eu **FILIPE CORSINO BORGES** do 8º semestre do Curso de Licenciatura em Física, devidamente matriculada no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins. Venho por meio desta solicitar ao, Senhor **Fernando Gomes Oliveira – CAP QOPM**, no estado de diretor do Colégio da Polícia Militar Unidade II, a autorização para coleta de dados nas turmas do 1º series, 2º series e 3º series, nas aulas de física, com o acompanhamento dos Professores: **Fenycia de Araújo Freitas, Alexsandro Messias Cruz Duarte e Simone Mágnã M. C. Lopes**. Com objetivo de coletar dados através de um questionário referente ao conhecimento dos alunos sobre radiação, para finalidade da Dissertação do Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura de Física, que tem como objetivo analisar o conhecimento dos alunos do ensino médio sobre radiação ionizante e proteção radiológica.

Esse trabalho tem com fins a obtenção do Grau de Licenciatura em Física, sob a orientação do Professor Mestre **Ademar Paulo Junior**, e a Co orientadora Professora **Simone Mágnã Menezes Carneiro Lopes**.

Eu, **Fernando Gomes Oliveira – CAP QOPM**, no estado de diretor do Colégio da Polícia Militar Unidade II,

Autorizo que realize a pesquisa através da coleta de dados por meio de questionários objetivos, com objetivo de afirmar que os alunos compreende conceitos de radiação ionizante e proteção radiológica.



Endereço: AE 310 Sul, Av. NS 10, Esq. Com Av. LO 05, Centro, CNPJ:
10.742.006/0003-50
CEP: 77.021-090 – Palmas/TO
Telefone: (63) 3236-4083
E-mail: coordfis@ifto.edu.br

Fenycia



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Autorizando que o material e informações obtidas possam ser publicados em aulas, seminários, congressos, palestras ou periódicos científicos. Porém, não deve ser identificado por nome o pesquisando em qualquer uma das vias de publicação ou uso.

As fotografias, ficarão sob a propriedade do pesquisador pertinente ao estudo e, sob a guarda dos mesmo, podendo ser utilizados publicados em aulas, seminários, congressos, palestras ou periódicos científicos. Porém, o pesquisado não deverá ser identificado nas imagens em qualquer uma das vias de publicação ou uso.

Queremos informar que o caráter ético desta pesquisa assegura a preservação da identidade das pessoas participantes.

Uma das metas para a realização deste estudo é o comprometimento do pesquisador em possibilitar, aos participantes, um retorno dos resultados da pesquisa. Solicitamos ainda a permissão para a divulgação desses resultados e suas respectivas conclusões, em forma de trabalho de conclusão de curso, artigo e livro.

Agradecemos vossa compreensão e colaboração no processo de desenvolvimento deste futuro profissional no processo de iniciação à pesquisa científica em nossa região.

Atenciosamente,

Fernando Gomes Oliveira – CAP QOPM



Endereço: AE 310 Sul, Av. NS 10, Esq. Com Av. LO 05, Centro, CNPJ:
10.742.006/0003-50
CEP: 77.021-090 – Palmas/TO
Telefone: (63) 3236-4083
E-mail: coordfis@iftoc.edu.br

Fernanda

Stênio



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Ademar Paulo Júnior

PROF. MS. ADEMAR PAULO JÚNIOR

Professora do Curso de Licenciatura em Física
Portaria 293/2013/IFTO – Campus Palmas

Simone Magna Menezes Carneiro Lopes

Prof. Esp. SIMONE MAGNA MENEZES CARNEIRO LOPES

Professora do Colégio da Polícia Militar e Co orientadora

Fernando Gomes Oliveira

Fernando Gomes Oliveira – CAP QOPM

Diretor do Colégio da Polícia Militar -II

Joseline Rios

Joseline Rios Ferreira – CAP QOPM

Coordenadora Pedagógica Gera

Fenycia de Araújo Freitas

Fenycia de Araújo Freitas

Professora do Colégio da Polícia Militar

Alexsandro M.C. Duarte

Alexsandro Messias Cruz Duarte

Professora do Colégio da Polícia Militar



Endereço: AE 310 Sul, Av. NS 10, Esq. Com Av. LO 05, Centro, CNPJ:
10.742.006/0003-50
CEP: 77.021-090 – Palmas/TO
Telefone: (63) 3236-4083
E-mail: coordfis@ifto.edu.br

9. APÊNDICE

NOME: _____ TURMA: _____

Questionário da pesquisa

Email: _____

Informações gerais

Favor marcar com um **X** somente em uma única resposta que melhor se apresente para você.

1. Sexo:

☐ Masculino

☐ Feminino

2. Faixa de idade:

☐ De 10 à 15 anos

☐ De 16 a 20 anos

☐ De 21 a 30 anos

☐ De 30 a 40 anos

☐ Acima de 40 anos

3. Ensino Médio:

☐ Escola Pública

☐ Escola Privada

4. Último curso que você concluiu:

☐ Doutorado

☐ Mestrado

☐ Graduação

☐ 3ª Ano do Ensino
Médio

☐ 2ª Ano do Ensino
Médio

☐ 1ª Ano do Ensino Médio

5. Você gosta de Ciências? Se sim qual dessas áreas se identifica?

☐ Não

☐ Sim, Matemática

☐ Sim, Química

☐ Sim, Física

☐ Sim, Biologia

☐ Sim, TODAS

Quais desses termos você conhece?

6. Fótons

☐ 1 – Sim, Sei do
que se trata

☐ 2 – Sim, já ouvir
falar

☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do
que se trata

7. Comprimento de onda

☐ 1 – Sim, Sei do
que se trata

☐ 2 – Sim, já ouvir
falar

☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do
que se trata

8. Espectro eletromagnético

☐ 1 – Sim, Sei do
que se trata

☐ 2 – Sim, já ouvir
falar

☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do
que se trata

9. Radiação ionizante

☐ 1 – Sim, Sei do
que se trata

☐ 2 – Sim, já ouvir
falar

☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do
que se trata

10. Raios X

- ☐ 1 – Sim, Sei do que se trata ☐ 2 – Sim, já ouvir falar ☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do que se trata

11. Raios Gama

- ☐ 1 – Sim, Sei do que se trata ☐ 2 – Sim, já ouvir falar ☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do que se trata

12. Relacione o termos abaixo para cada definição

1- Fótons	()	São radiações eletromagnéticas de alta frequência, produzidas a partir da colisão de feixes de elétrons com metais.
2- Comprimento de Onda	()	É um tipo de radiação eletromagnética de alta frequência que é produzida por elementos radioativos que se desintegram.
3- Espectro Eletromagnético	()	A distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos.
4- Radiação Ionizante	()	É a distribuição das ondas eletromagnéticas, visíveis e não visíveis, de acordo com a frequência e o comprimento de onda característico de cada radiação.
5- Raios X	()	São as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos “pacotes” que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas.
6- Raios Gama	()	Consiste em ondas eletromagnéticas com energia suficiente para fazer com que os elétrons se desprendam de átomos e moléculas, alterando sua estrutura – num processo conhecido como ionização.

Questões Gerais**13- Você conhece algum acidente radiológico?**

- ☐ 1 – Sim, conheço. ☐ 2 – Sim, já ouvir falar. ☐ 3- Não

Se sim, cite os que você conhece: _____

14- Você saberia se defender de um acidente radiológico?

- ☐ 1 – Sim. ☐ 2- Não

Se sim, como: _____

15- Você tem medo de radiação em geral?

☐ 1 – Sim. ☐ 2- Não

16- E medo de radiação ionizante?

☐ 1 – Sim. ☐ 2- Não

17- Você já fez algum exame de radiodiagnóstico?

☐ 1 – Sim, vários exames ☐ 2 – Sim, apenas um ☐ 3- Não

Se sim, quais?: _____

18- Você conhece algum protetor radiológico?

☐ 1 – Sim, Sei do que se trata ☐ 2 – Sim, já ouvir falar ☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do que se trata

Se sim, quais?: _____

19- Você conhece ou já ouviu falar em algum medidor de radiação?

☐ 1 – Sim, Conheço ☐ 2 – Sim, já ouvir falar ☐ 3- Não, nunca ouvir falar e nem sei do que se trata

Se sim, quais?: _____

20- Você conhece algum efeito biológico causado pela radiação ionizante?

☐ 1 – Sim, mais de um efeito ☐ 2 – Sim, apenas um efeito ☐ 3- Não, nenhum efeito

Se sim, quais?: _____

21- Você considera a radiação ionizante algo bom ou ruim?

☐ 1 – Bom ☐ 2 – Ruim ☐ 3- Não sei dizer

22- Sabe dos benefícios que a radiação ionizante pode ter?

☐ 1 – Sim, mais de um benefício ☐ 2 – Sim, apenas um benefício ☐ 3- Não, nenhum benefício

Se sim, Quais?: _____

23- Quais desses aparelhos emite radiação ionizante, pode marcar mais de uma opção se achar necessário:

☐ Radiografia de tórax ☐ Ultrassonografia ☐ (PET) Medicina nuclear
☐ Ressonância Magnética ☐ Tomografia Computadorizada ☐ Endoscopia

24- Você já estudou o conteúdo sobre radiação ionizante e proteção radiológica no Ensino Médio?

☐ 1 – Sim ☐ 2 – Não