

**32222UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**INSTITUTO DE FÍSICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ELABORAÇÃO DE UM MATERIAL DE APOIO DIDÁTICO E PARADIDÁTICO  
PARA O ENSINO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES NO ENSINO MÉDIO E  
TÉCNICO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL**

**ROGÉRIO FACHEL DE MEDEIROS**

**Porto Alegre**

**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ELABORAÇÃO DE UM MATERIAL DE APOIO DIDÁTICO E  
PARADIDÁTICO PARA O ENSINO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES NO  
ENSINO MÉDIO E TÉCNICO**

**ROGÉRIO FACHEL DE MEDEIROS**

Dissertação realizada sob a orientação da Profa. Dra. Flavia Maria Teixeira dos Santos e coorientação do Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

**Porto Alegre**

**2011**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus orientadores, Dra. Flavia Maria Teixeira dos Santos e Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, pela paciência e carinho com que sempre me acolheram.

Agradeço a minha irmã Rosângela Fachel de Medeiros pela ajuda na formatação deste trabalho e pelo apoio na elaboração do texto desta dissertação.

Agradeço ao meu colega e amigo Renato Moreira pela ajuda imprescindível na criação e confecção do CD – ROM.

E não por último, agradeço aos meus pais e familiares pelo apoio incondicional.

“As palavras só têm sentido se nos ajudam a ver o mundo melhor. Aprendemos palavras para melhorar os olhos. Há muitas pessoas de visão perfeita que nada vêem... O ato de ver não é coisa natural. Precisa ser aprendido!”

**Rubem Alves**

## RESUMO

Este trabalho apresenta a implementação de um material de apoio para o ensino de Física das Radiações, e os resultados obtidos com sua aplicação em sala de aula para alunos do curso técnico em radiologia. Essa proposta tem como marco teórico a Aprendizagem Significativa apresentada por Ausubel. A aplicação do material de apoio em sala de aula fez uso sistemático de recursos computacionais, com destaque à utilização de um CD para promover o aprendizado significativo de conceitos básicos de Física das Radiações. Considerando que o assunto faz parte do curso técnico de radiologia a aplicação e avaliação do referido material de apoio foi realizada como parte do conteúdo básico de Física das Radiações, já prevista na ementa do curso. Como este material foi produzido vislumbrando a possibilidade de sua utilização também no Ensino Médio, a proposta contempla as recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais no sentido de uma progressiva inserção da Física do Século XX no Ensino Médio. Na expectativa real de que, em um futuro próximo, a Física das Radiações passe a constar de maneira mais efetiva nos programas e conteúdos das escolas, o material de apoio produzido por esta dissertação poderá ser utilizado por professores do Ensino Médio que queiram abordar o assunto em suas aulas regulares em escolas que disponham de recursos de informática. A metodologia utilizada para produção do material de apoio estava focada, inicialmente, em um levantamento preliminar de dados em livros didáticos utilizados no Ensino Médio e Técnico e em artigos publicados em revistas especializadas. Posteriormente, utilizamos os resultados levantados pela aplicação dos questionários (Anexos 2 e 3) para direcionamento e definir os tópicos desenvolvidos no material onde finalizamos a produção do mesmo com um estudo detalhado em 8 bibliografias especializadas. Com o objetivo de analisar e avaliar a aplicação do material de apoio de um ponto de vista geral realizamos o cálculo da porcentagem média geral de acertos e erros obtidos na avaliação prévia e comparamos com a porcentagem média geral de acertos e erros obtidos na avaliação final. A porcentagem média geral de acertos verificado nas 45 questões objetivas aplicadas durante o desenvolvimento da atividade aumentou de 17,0% para 82,3 % e a porcentagem média geral de erros diminuiu

de 83,0% para 17,7%. Sendo assim, podemos concluir que, durante a implementação do curso, nosso objetivo foi alcançado onde os resultados indicam que assuntos atuais (que fazem parte da vida cotidiana dos alunos) são bem recebidos por eles e a utilização de um material direcionado para esta realidade produz bom resultado em termos de aprendizagem significativa.

**Palavras-chave:**

Física, Física das Radiações, Ensino de Física, Formação Profissional.

## **ABSTRACT**

This study presents not only the implementation of support material for teaching Physics of Radiations, but also the results obtained through its application in the classroom with students of the course technician in radiology. This proposal has as its theoretical framework the meaningful learning theory presented by Ausubel, and the application of support material in the classroom has used computational resources systematically, highlighting the utilization of an interactive CD in order to promote meaningful learning of basic concepts of radiations. Considering that the subject makes part of the course technician in radiology, the application and assessment of the referred support material was carried out as part of the basic content of Physics of Radiations already predicted in the course program. In addition, as this material was produced glimpsing the possibility of its utilization in the high school, this work proposal has contemplated the recommendations of National Curricular Parameters with the direction of a progressive insertion of physics of the twentieth century in high school teaching. With the real expectation that, in the near future, the Physics of Radiations will appear in a more effective way, in programs and contents of the schools, the support material produced by this dissertation will be available for high school teachers who want to approach the subject in their regular classrooms, which have provided informatics resources. The methodology utilized for the production of support material has been focused, initially, on a preliminary survey of data collected from textbooks utilized in high/technical school teaching and articles published in specialized magazines. Subsequently, the results obtained with the application of the questionnaires (Annexes 2 and 3) were utilized for directing and defining the topics developed in the material, where the production of it was completed within a detailed study in 8 specialized literatures. Then, with the objective of analyzing and assessing the application of this support material, we have carried out, from a general point of view, the calculus of the general mean percentage of accuracy and errors obtained in the previous assessment, and we have compared it with the general mean percentage of accuracy and errors obtained in the final assessment. The general mean percentage of accuracy verified in the 45 objective questions, applied during the development of the

activity, increased from 17.0% to 82.3 %, and, the general mean percentage of errors decreased from 83.0% to 17.7%. Therefore, we may conclude that, during the course implementation, our objective was achieved and the results suggest that current physics topics can make part of the routine life of students, as well as that they were well received by them; the utilization of support material, directed for this reality, has produced a good result in terms of meaningful learning.

**Key words:**

Physics, Physics of Radiations, Physics Teaching, Professional Education.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Mapa conceitual de Aprendizagem Significativa segundo Ausubel ...	26
<b>Figura 2</b> – Tela inicial do CD-ROM Física das Radiações.....	43
<b>Figura 3</b> – Tela Módulo 1 do CD-ROM .....	43
<b>Figura 4</b> – Tela Módulo 2 do CD-ROM .....	44
<b>Figura 5</b> – Tela Módulo 3 do CD-ROM .....	45
<b>Figura 6</b> – Imagem A: comando do equipamento de Raios X Telecomandado da marca Shimadzu. Imagem B: tubo de Raios X (especialmente desmontado) para realização de algumas aulas práticas no laboratório. Imagens C: sala de procedimento onde está instalado o equipamento de Raios X Telecomandado da Marca Shimadzu .....	50

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Distribuição do número de alunos em função da idade .....	30
<b>Gráfico 2</b> – Distribuição do número de alunos em função da idade.....	31
<b>Gráfico 3</b> – Gráfico questionário inicial - Questão A - Ensino Médio.....	33
<b>Gráfico 4</b> – Gráfico questionário inicial - Questão A - Ensino Técnico.....	33
<b>Gráfico 5</b> – Gráfico da aplicação da questão B para alunos do Ensino Médio.....	34
<b>Gráfico 6</b> – Gráfico da aplicação da questão B para alunos do Ensino Técnico.....	34
<b>Gráfico 7</b> – Gráfico da aplicação da questão C para alunos do Ensino Médio.....	35
<b>Gráfico 8</b> – Gráfico da aplicação da questão C para alunos do Ensino Técnico.....	36
<b>Gráfico 9</b> – Gráfico da aplicação da questão D para alunos do Ensino Médio.....	36
<b>Gráfico 10</b> – Gráfico da aplicação da questão D para alunos do Ensino Técnico.....	37
<b>Gráfico 11</b> – Gráfico da aplicação da questão E para alunos do Ensino Médio.....	37
<b>Gráfico 12</b> – Gráfico da aplicação da questão E para alunos do Ensino Técnico.....	38
<b>Gráfico 13</b> – Gráfico da aplicação da questão F para alunos do Ensino Médio.....	38
<b>Gráfico 14</b> – Gráfico da aplicação da questão F para alunos do Ensino Técnico.....	39
<b>Gráfico 15</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão G para alunos do Ensino Médio e Técnico.....	39
<b>Gráfico 16</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão H para alunos do Ensino	

Médio e Técnico.....	40
<b>Gráfico 17</b> – Gráfico da avaliação prévia – 1º encontro.....	55
<b>Gráfico 18</b> – Gráfico da avaliação prévia – 2º encontro.....	55
<b>Gráfico 19</b> – Gráfico da avaliação prévia – 3º encontro.....	56
<b>Gráfico 20</b> – Gráfico da avaliação prévia – 4º encontro.....	57
<b>Gráfico 21</b> – Gráfico da avaliação prévia – 5º encontro.....	57
<b>Gráfico 22</b> – Gráfico da avaliação prévia – 6º encontro.....	58
<b>Gráfico 23</b> – Gráfico da avaliação prévia – 7º encontro.....	59
<b>Gráfico 24</b> – Gráfico da avaliação prévia – 8º encontro.....	59
<b>Gráfico 25</b> – Gráfico da avaliação prévia – 9º encontro.....	60
<b>Gráfico 26</b> – Gráfico estatístico da avaliação geral.....	61
<b>Gráfico 27</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão 01 para alunos.....	62
<b>Gráfico 28</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão 02 para alunos.....	62
<b>Gráfico 29</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão 03 para alunos.....	63
<b>Gráfico 30</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão 04 para alunos.....	63
<b>Gráfico 31</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão 05 para alunos.....	64
<b>Gráfico 32</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão 06 para alunos.....	64
<b>Gráfico 33</b> – Gráfico estatístico da aplicação da questão 06 para alunos.....	65

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Organização dos encontros de implementação do material discutidos em cada encontro do curso .....	46
<b>Quadro 2</b> - Organização das atividades de avaliação .....	52

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>12</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 – REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>25</b>
<b>4 – METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
4.1 – Levantamento na literatura.....	29
4.2 – Levantamento de dados e identificação do perfil do aluno.....	30
4.3 – Levantamento de dados para elaboração do material de apoio .....	35
4.4 – Elaboração do material de apoio didático de Física das Radiações.....	45
4.5 – Produção do CD-ROM .....	49
<b>5 – DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DIDÁTICA: APLICAÇÃO DO MATERIAL DE APOIO EM DUAS TURMAS DO CURSO TÉCNICO DE RADIOLOGIA .....</b>	<b>46</b>
5.1 – Contexto de aplicação da experimentação.....	47
5.2 – Descrição geral dos encontros.....	49
5.3 – Análise e avaliação do material de apoio proposto por esta dissertação e sua aplicação .....	51
<b>6 – RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
6.1 – Apresentação e discussão dos resultados obtidos na aplicação do material de apoio de Física das Radiações nos encontros.....	53
6.2 – Apresentação e discussão dos resultados obtidos com o questionário de avaliação do material de apoio e aplicação da proposta pelos alunos.....	61
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## 1 – INTRODUÇÃO

É consenso entre os profissionais do Ensino de Física a necessidade de uma alteração significativa nos conteúdos programáticos de Física, utilizados nas escolas de nível médio e escolas técnicas de formação profissional. A referida e desejada alteração é prejudicada por um grupo de fatores, entre os mais importantes podemos citar a falta de uma revisão periódica dos currículos escolares e a pouca disponibilidade de materiais de apoio qualificado, além de professores despreparados e/ou desmotivados (BRASIL, 2000a).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) orientam que o currículo das escolas deve sofrer uma atualização focada no ensino de Física Contemporânea e em assuntos que fazem parte da vida cotidiana dos alunos. Assim, possivelmente, teríamos um dos principais requisitos para promover uma aprendizagem significativa, a “motivação” dos alunos.

O estudo da Física das Radiações está presente na Física Contemporânea e também faz parte da vida cotidiana dos alunos como, por exemplo, quando estes são submetidos a procedimentos de diagnóstico e/ou terapêuticos. Tais procedimentos utilizam feixes de Raios X e substâncias radioativas, a respeito dos quais, normalmente, pela desinformação, existem muitas dúvidas e medos. Mesmo assim, aspectos da Física das Radiações permanecem fora do currículo escolar e, por conseguinte, fora dos livros didáticos. A confecção de um material de apoio didático para o ensino da Física das Radiações pode ser de muita valia, principalmente, a elaboração de um material focado nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e estruturado a partir da filosofia construtivista. A necessidade da elaboração deste material de apoio se faz notória quando verificamos a quantidade de informações e conceitos incorretos publicados nos livros didáticos. Além disso, o Ministério da Educação por meio da Secretaria da Educação Básica, sugere a introdução de alguns conceitos básicos de Física das Radiações nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (BRASIL, 2006).

Por outro lado, ao pensarmos na formação dos futuros técnicos de radiologia devemos ter em mente a necessidade de formar profissionais que realizem suas atividades com qualidade e segurança. Assim é necessário que o professor trabalhe, além do conteúdo formal, um conjunto de habilidades e atitudes que permitam aos estudantes responderem com rapidez, agilidade e de maneira eficiente a situações práticas. Sendo assim, o material de apoio ao ensino de Física das Radiações apresentará, além do conteúdo técnico formal, atividades que permitam a formação de atitudes para tais situações. Os tópicos e habilidades a serem desenvolvidas durante a execução das aulas específicas de Física das Radiações deverão ser elaborados conforme os Referenciais Curriculares Nacionais da Educação Profissional de Nível Técnico (BRASIL, 2000b).

Como mencionamos, os documentos curriculares oficiais recomendam a introdução de tópicos de Física das Radiações no Ensino Médio e Técnico, mas ao realizarmos uma revisão bibliográfica focada no ensino de Física das Radiações em artigos publicados em revistas especializadas, nos últimos 20 anos, e também em livros didáticos, verificamos uma grande carência de estratégias de ensino e de cursos, bem como de material de apoio didático e paradidático relevante.

A proposta de produção de um material de apoio didático sobre Física das Radiações e o seu teste em sala de aula no Ensino Médio e Técnico, conjuntamente com a definição da forma de uso e exploração dos mesmos, poderão contribuir para suprir demandas identificadas na revisão bibliográfica, disponibilizando ao público interessado um material qualificado através do qual se promova a compreensão correta de conceitos fundamentais. Esta foi nossa preocupação na elaboração deste material, pois encontramos com frequência em obras de ficção científica, cinema, desenhos animados, histórias em quadrinhos e até mesmo em livros didáticos conceitos básicos de Física das Radiações abordados e/ou interpretados de maneira incorreta.

No segundo capítulo desta dissertação apresentamos a revisão realizada

na literatura e discutimos as obras encontradas nas categorias livros didáticos e materiais de apoio e artigos de pesquisas. Os dados obtidos revelam uma carência de livros didáticos, materiais de apoio e artigos de pesquisa que abordassem tópicos de Física das Radiações.

Nos capítulos seguintes serão apresentados o referencial teórico utilizado, a metodologia empregada, o contexto da aplicação da experimentação, os resultados obtidos e a análise dos mesmos e, por fim, as conclusões a que chegamos.

## **2 – REVISÕES DA LITERATURA**

Com o objetivo de identificar e avaliar materiais que proponham ou trabalhem com Física das Radiações no Ensino Médio e Técnico e que nos ajudassem na elaboração de um Material de Apoio Didático foi realizada uma revisão de literatura. Também foi realizada uma pesquisa na internet sobre o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e, em especial, das simulações como recursos didáticos.

Nesta revisão investigamos se a Física das Radiações era um assunto contemplado nos livros didáticos utilizados no Ensino Médio e Técnico no Brasil, concomitantemente, com uma avaliação detalhada dos tópicos abordados, qualidade do material e nível de aprofundamento. A pesquisa envolveu inicialmente os livros didáticos de nível médio mais recentes do mercado editorial; posteriormente, executamos uma revisão bibliográfica focada em livros direcionados para o Ensino Técnico publicados nos últimos quatro anos.

Nesta pesquisa realizada em bibliotecas, escolas e editoras foram consultados livros didáticos utilizados no Ensino Médio e no Ensino Técnico e livros específicos de Física das Radiações recomendados como fonte de pesquisa pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Associação Brasileira de Física Médica (ABFM) e Associação Americana de Física Médica (AAPM). Neste levantamento, identificamos e analisamos 34 livros de Física (ver listagem no Anexo 01) utilizados no Ensino Médio como livros texto. Após a conclusão deste estudo verificamos que nenhum dos livros possuía um capítulo específico sobre Física das Radiações e quando analisada a existência de tópicos ou temas de Física das Radiações observou-se que apenas 01 dos livros abordava algum tópico específico, ou seja, 97,1% dos livros pesquisados não apresentavam algum tópico a respeito. Além disso, observou-se que os tópicos encontrados apresentavam-se de maneira superficial, sem coerência com o corpo do texto e não respeitando a progressividade conceitual do tema.

No que se refere aos textos técnicos, o tema foi encontrado em apenas um livro didático, utilizado em cursos técnicos de radiologia, Bontrager (2007)<sup>1</sup>, o qual apresenta apenas um tópico sobre proteção radiológica, ou seja, das 814 páginas do livro apenas 5 estão relacionadas à Física das Radiações. Cabe ressaltar que assuntos relacionados à Física das Radiações constituem aproximadamente 40% do conteúdo programático do curso técnico em radiologia. Sendo assim, fica evidente uma possível carência de material específico e qualificado também para o Ensino Técnico.

Para produção do material de apoio, objetivo principal da investigação descrita nesta dissertação, focamos nossa pesquisa em oito obras: PSSC (1966), Johns (1983), Wolbarst (1993), Carlton (2001), Curry (1990), Bushong (1999), Hall (2000) e Brown (1999). Estes textos são recomendados por instituições conceituadas e respeitadas na área de Física das Radiações. Destes, seis foram produzidos para serem utilizados no Ensino Superior e um para ser utilizado no Ensino Técnico, sendo todos de autores estrangeiros. Não encontramos bibliografia nacional que abordasse o assunto de Física das Radiações direcionada para o ambiente hospitalar e não foi verificada bibliografia específica para Ensino Médio.

No decorrer desta revisão bibliográfica percebemos que a falta de materiais específicos e qualificados de Física das Radiações é um problema generalizado, que ocorre nos livros didáticos escolares, técnicos e naqueles utilizados na educação superior. Cabe ressaltar que existe um bom número de livros estrangeiros disponíveis para o ensino de Física das Radiações em nível superior.

A revisão bibliográfica também abordou os artigos sobre o ensino de Física Contemporânea, publicados em revistas sobre o ensino de física, bem como o uso das novas tecnologias como recurso didático. A análise dos artigos científicos evidenciou o quão limitado é a realização e/ou a divulgação científica de trabalhos relacionados ao ensino de Física das Radiações.

Buscando identificar artigos científicos que tratassem da utilização de uma

---

<sup>1</sup> Realizamos um estudo comparativo em outras 4 edições anteriores publicadas pelo autor e verificamos pouca diferença entre elas.

abordagem do tema de Física das Radiações no Ensino Médio e Técnico analisamos o Caderno Catarinense de Ensino de Física e a Revista Física na Escola. No Caderno Catarinense de Ensino de Física, atualmente denominado Caderno Brasileiro de Ensino de Física, o levantamento de dados iniciou-se no primeiro volume da revista, publicado em 1979, e terminou em 2007, neste período foram publicadas 86 edições, as quais estão divididas em 29 volumes. Na Revista Física na Escola, o período analisado foi de 2000 até 2007, no qual foram publicadas 15 edições, as quais estão divididas em 8 volumes. Em nenhuma das publicações foi encontrado algum artigo que abordasse o desenvolvimento de assuntos relacionados com Física das Radiações no Ensino Médio ou técnico.

Entretanto, nos trabalhos publicados no Caderno Brasileiro de Ensino de Física e Física na Escola percebemos um crescente número de publicações relacionadas ao desenvolvimento de atividades de Física Contemporânea no Ensino Médio. O que evidencia uma tendência à inclusão de tópicos de Física Contemporânea neste nível de ensino.

O artigo “Teoria da Relatividade Restrita e Geral no Programa de Mecânica do Ensino Médio: Uma Possível Abordagem” descreve uma investigação acerca de uma proposta curricular de inserção do estudo das teorias da relatividade restrita e geral na primeira série do Ensino Médio. Além de outras vantagens em trabalhar com o ensino de Física Contemporânea os autores relatam que:

[...] nas últimas décadas vários pesquisadores da área de ensino de física têm desenvolvido trabalhos envolvendo construções de materiais didáticos, pesquisas educacionais e projetos de formação de professores que se propõem a fornecer a estrutura para que professores possam reconstruir seus currículos, trazendo aos alunos a física do século XX (GUERRA et al., 2007, p 576).

É comum no Ensino Médio, mesmo considerando a evolução da ciência, que livros didáticos e professores trabalhem quase exclusivamente com a Física clássica, ou seja, mesmo com facilidade na obtenção de informações os professores e autores de livros didáticos não atualizam os tópicos propostos para estudo.

No artigo “Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores”, (Oliveira et al., 2007) é apresentada uma pesquisa realizada com professores de física que atuam no ensino público e privado relacionada à introdução de tópicos de Física Moderna. Com base nos resultados foi elaborada uma proposta metodológica para ensinar a temática raios-X com ênfase na abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), a qual se revelou bastante satisfatória, em termos de aceitação e disponibilidade quando da utilização deste material. Os autores justificaram a proposta para introdução de Física Moderna no Ensino Médio comentando:

[...] é preocupante como o ensino de ciência, particularmente a física no Ensino Médio, não tem acompanhado esse desenvolvimento e cada vez mais se distancia das necessidades dos alunos no que diz respeito ao estudo de conhecimentos científicos mais atuais. Um dos fatores que contribuem para esse quadro é a defasagem em termos de conteúdo do currículo de física e aquilo que o aluno é informado, pela mídia escrita e falada, sobre os avanços e descobertas científica no campo da física no Brasil e no mundo (OLIVEIRA et al., 2007, p 447)

Os autores defendem ainda a necessidade de contextualização dos tópicos estudados com a realidade do aluno:

[...] a lacuna provocada por um currículo de física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Isso não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em formulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a física desempenha no mundo em que vive. (OLIVEIRA et al., 2007, p 448)

A necessidade de mudanças nos conteúdos oferecidos aos alunos é um consenso entre os professores e pesquisadores na área de ensino de física. O aluno necessita ser motivado. Para realmente ter o interesse de estudar e efetivamente aprender, ele deve identificar claramente uma aplicação e um objetivo para realização do estudo sobre um determinado assunto.

A questão específica do currículo de física para o Ensino Médio tem sido um tema muito discutido e analisado por pesquisadores da área. Com a publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (BRASIL, 2000a), foi apresentado um currículo pronto e fechado, cabendo às escolas e aos professores apenas aplicá-lo (GUERRA et al., 2007). Cabe ressaltar que os PCNs

foram elaborados considerando tópicos relacionados à física do século XX. Após a publicação e aplicação dos referidos PCNs já foi possível verificar algumas mudanças significativas quanto ao ensino de Física Moderna nas escolas brasileiras.

Mas como era de se esperar houve uma resistência das escolas e professores brasileiros em relação ao ensino da Física Moderna. Nem toda mudança é bem recebida no início, pois existe uma tendência à acomodação, onde os professores se adaptam a ensinar sempre as mesmas coisas, utilizando os mesmos materiais e repetindo uma mesma maneira de proceder em sala de aula. Esta acomodação, em parte, é estimulada pelas escolas quando não investem em seus professores, não lhes oferecem as mínimas condições didáticas para que atualizem suas aulas de física e não estimulam mudanças.

Guerra et al., (2007) comentam a respeito das mudanças verificadas nos livros didáticos após a publicação dos PCNs:

Em relação aos livros didáticos houve mudanças. As novas edições de algumas coleções muito usadas pelos professores de física inseriram no último volume temas de Física Moderna, como: a física relativística, a física do mundo microscópico e a cosmologia. Na verdade, a mudança não partiu de uma demanda dos professores, mas da exigência do Ministério da Educação da adequação dos livros didáticos as metas anunciadas nos PCNs. Parte dessa tendência se deve ao plano do Governo Federal de ampliação do programa de aquisição de livros didáticos para as disciplinas científicas (GUERRA et al., 2007, p.575).

Sobre a necessidade de inserção de tópicos de Física Moderna e contemporânea no Ensino Médio foi encontrada uma significativa bibliografia: Karam (2007), Pena (2006), Ostermann et al (1998), Ostermann (1999, 2006); Kawamura e Hosoume (2003) e Moreira (2004). Muitos dos autores encontrados consideram fundamental e indispensável que os estudantes do Ensino Médio conheçam os princípios físicos envolvidos na tecnologia atual.

Moreira (2004), por exemplo, ressalta que em função da facilidade atual de se ter acesso aos avanços tecnológicos é imprescindível ao estudante do Ensino Médio conhecer os princípios físicos que estão por trás da tecnologia, pois esta tecnologia está presente em sua vida cotidiana e certamente se fará presente em sua vida profissional. Esta característica justifica a inclusão de tópicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer a relação entre a física da sala de aula e a

física do cotidiano (computador, mostradores de cristal líquido, leitores ópticos, xérox, impressora laser, portas e torneiras automáticas, controle remoto, laser em medicina, fibras óticas e etc.).

Outra preocupação apontada por alguns dos autores e que acompanha a atualização dos currículos escolares são os recursos pedagógicos oferecidos aos professores. Segundo Ostermann e colaboradores:

Cresce a cada dia a preocupação em se atualizar os currículos escolares de física. No entanto, os recursos pedagógicos em nosso meio são escassos e a ênfase na formação de professores é bastante formal. Os livros didáticos de física para o Ensino Médio editados no Brasil já começaram a introduzir elementos da Física Quântica, mas ainda apresentam-se bastante presos à abordagem histórica de caráter meramente informativo. É preciso avançar em relação as abordagens tradicionais dos cursos de Licenciatura e de formação continuada, sinalizando possíveis transformações didáticas da Física Quântica para o Ensino Médio que priorizem conceitos e o que há de mais fundamental na teoria (OSTERMANN et al., 2006, p25).

No decorrer da realização da revisão bibliográfica encontramos apenas três trabalhos que abordam a Física das Radiações. No primeiro, “O que é radiação? E contaminação radioativa? Vamos esclarecer?” (JUNIOR, 2007), o autor discute entre outros tópicos uma das maiores dúvidas e a responsável por grande confusão entre alunos do Ensino Médio e Técnico e até mesmo entre alguns professores de física, “a diferenciação de contaminação e exposição”. Para isso o autor usa a ferramenta da contextualização com o objetivo de produzir um material acessível e ao mesmo tempo inserido na realidade dos alunos:

O que realmente ocorre quando há um acidente com material radioativo? Será que quem recebeu radiação passa a espalhá-la por onde passar? É claro que não! Não há como estocar qualquer tipo de radiação, seja ela proveniente de materiais radioativos ou não. (JUNIOR, 2007, p 40)

Ao longo do texto se discute o assunto, utilizando fatos do cotidiano, e também os problemas oriundos da falta de conhecimento a respeito dos princípios fundamentais das radiações, como o exemplo a seguir:

Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico cuja esterilização fora feita através da irradiação, alegando que o material tornara-se radioativo. O cliente trocou de fornecedor. Resultado: negócio perdido pela falta de conhecimento básico sobre o tema. (JUNIOR, 2007, p. 43)

No artigo “Laboratório Virtual de Física Nuclear” DIAS et al., (2002), os autores apresentam um programa desenvolvido para simular um conjunto de equipamentos (detector e contador de radiação, fontes radioativas e placas absorvedoras) usados em um laboratório básico de física nuclear. Neste trabalho os autores apresentam uma alternativa para as escolas e universidades que não possuem um laboratório de física bem estruturado:

A utilização de laboratórios de ensino bem equipados com aparelhos modernos e em número suficiente para serem manipulados por todos os estudantes é, sem dúvida nenhuma, um sonho a ser alcançado pela maioria de nossas universidades. Assim, enquanto não alcançamos este ideal pedagógico, podemos motivar nossos alunos oferecendo, além da teoria pura e simples, a realidade virtual dos programas de simulação computacional. (DIAS et al., 2002, p. 232)

Oliveira et al., (2007) identificam os tópicos de Física Moderna e Contemporânea que deveriam ser abordados e discutidos no Ensino Médio:

[...] os tópicos mais importantes na opinião dos entrevistados foram: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios – X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, big bang, estrutura molecular e fibras ópticas. O resultado dessa pesquisa delimita um quadro favorável em termos de qualidade e diversidade de tópicos de Física Moderna e contemporânea que podem ser utilizados no currículo do Ensino Médio e que traduzem a vontade da comunidade científica (OLIVEIRA et al., 2007, p. 449)

Neste mesmo trabalho os autores discutem as vantagens de se trabalhar com o ensino dos fundamentos de raios – X no Ensino Médio. Entre outras vantagens é ressaltada a possibilidade de se trabalhar com a Física Moderna e Contemporânea por meio de assuntos como modelos atômicos e o espectro eletromagnético, os quais já fazem parte do currículo da disciplina de física, como a possibilidade de se promover o tratamento entre disciplinas:

[...] devido à abrangência do assunto pode-se relacionar a física com outras áreas do conhecimento, além da química, como a história, através da compreensão do momento histórico em que se deu a divulgação científica de Röntgen, por exemplo, influenciando rapidamente os diagnósticos na medicina, e a biologia, através dos efeitos nocivos da exposição excessiva das células aos raios – X. Busca-se assim, fugir do ensino compartimentalizado e mnemônico dessa disciplina nos dias atuais, permitindo ao aluno uma visão integrada de mundo. (OLIVEIRA et al., 2007, p 450)

Esta revisão bibliográfica apontou as carências da área e determinou as necessidades e as características da elaboração de um material didático para o ensino de Física das Radiações. A partir desta revisão, pode-se constatar que o enfoque do trabalho proposto é, de fato, necessário e oportuno.

### 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Aprendizagem Significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica. Podemos considerar a estrutura de conhecimento específica como sendo o conhecimento empírico que o indivíduo acumula a partir de suas experiências cotidianas. Também poderíamos considerar os conceitos alternativos como uma estrutura de conhecimento específica, pois estes conceitos poderiam servir de “âncora” ao conhecimento, sendo referências para o início de um estudo e alicerce de conhecimento (estrutura) para integração de novas informações (MOREIRA, 2004).

Segundo Ausubel (MOREIRA, 2004), a assimilação do conhecimento é estruturada de maneira hierarquizada e os conteúdos mais específicos são correlacionados e conectados com conceitos mais gerais e amplos. Para ele, o fator que mais contribui para a aprendizagem é o conhecimento que o indivíduo possui no momento de assimilar um novo conhecimento, uma nova informação.

Uma maior eficiência da aplicação da Aprendizagem Significativa é alcançada, segundo Ausubel, com a introdução de organizadores prévios que servirão de *link* para a nova aprendizagem. Os organizadores prévios (como o próprio nome diz) devem ser utilizados com pré-requisito, ou seja, devem ser apresentados aos alunos de maneira introdutória antes da apresentação do novo conceito (novo assunto) a ser trabalhado. A função primordial dos referidos organizadores é a de tornar mais sólida e coerente a ligação entre o conhecimento empírico do aluno (o que ele já sabe) com o novo conhecimento a ser assimilado e compreendido (MOREIRA, 2004)

A assimilação, segundo Ausubel, é um processo que ocorre quando um conceito novo é incorporado utilizando como subsunção um conceito preexistente na estrutura cognitiva do aluno (A). Cabe ressaltar que o resultado desta

interação é a modificação do conceito preexistente tornando-o mais amplo (A') e uma assimilação coerente do novo conceito, conhecimento, (a') o que cria consequentemente um novo conhecimento ligado (a'A').

A seguir é apresentado o mapa conceitual (Figura 1) no qual são organizados os principais conceitos teóricos da Aprendizagem Significativa. No mesmo mapa destaca-se, de forma hierárquica, o conhecimento preexistente do aprendiz (o que ele sabe – conceito subsunçor) como conceito mais importante.

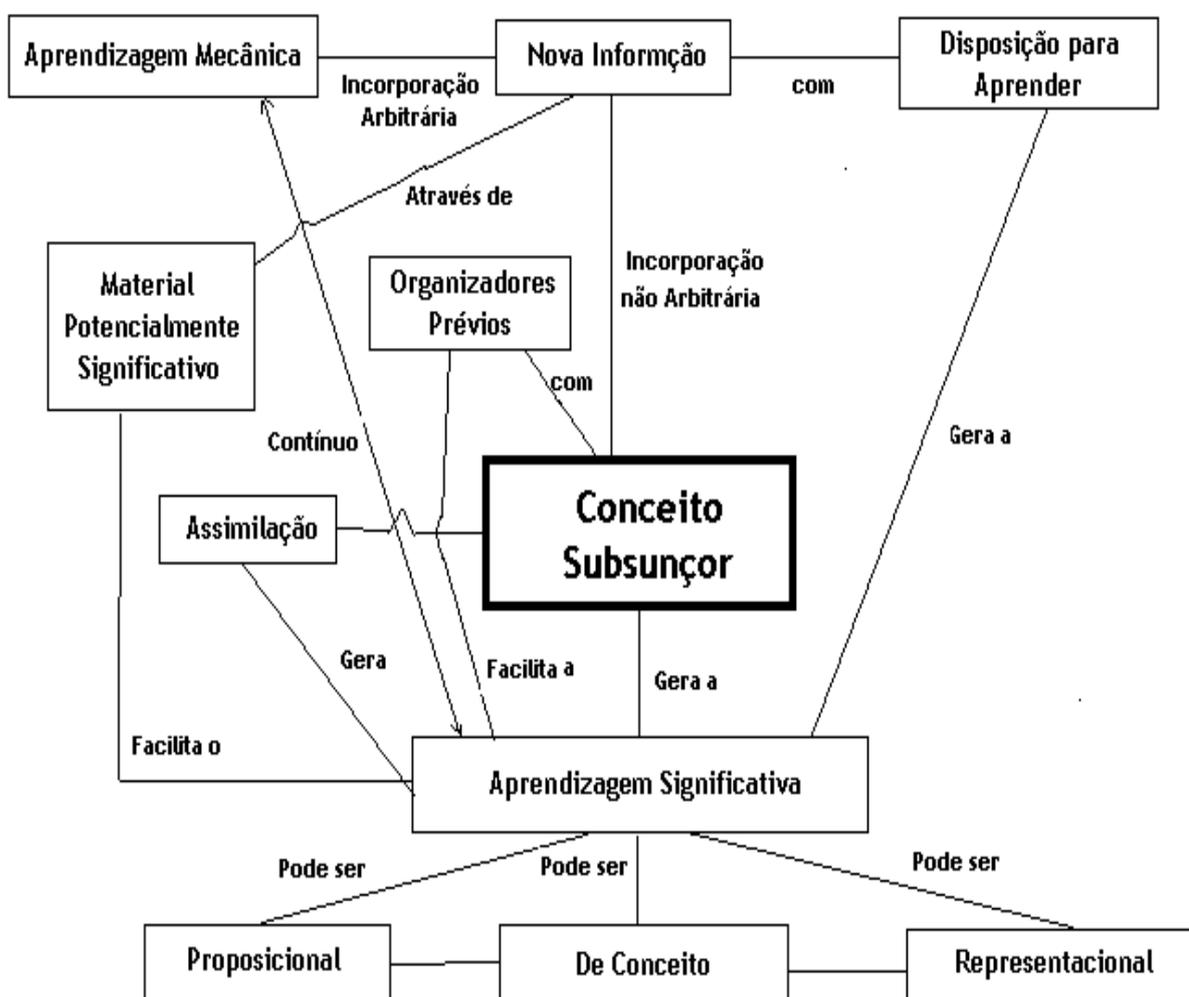


Figura 1 – Mapa Conceitual Mapa conceitual de Aprendizagem Significativa segundo Ausubel

O educador deve considerar o aprendiz como um ser pensante que já possui uma bagagem de conhecimento. O referido conhecimento é desenvolvido simultaneamente de duas formas diferentes, as quais chamaremos de conhecimento empírico e conhecimento sócio-cultural. Como este conhecimento é gerado por experimentações cotidianas e relações sociais ele se faz presente (de forma perene, profunda e forte) na bagagem cognitiva do aluno. Sendo assim, essas informações devem ser reconhecidas e aproveitadas pelo professor como conceitos subsunçores.

Sabemos que o confronto direto com as concepções alternativas (normalmente a forma que aluno registra o que sabe) do aprendiz é pretensioso e pouco eficiente. É realmente pretensioso imaginar a possibilidade de simplesmente apagar uma concepção alternativa da bagagem cognitiva do aprendiz e “reescreva-la” da forma cientificamente aceita.

Podemos utilizar como exemplo a concepção alternativa normalmente utilizada para explicar as estações do ano (inverno/verão). Nessa concepção alternativa o fenômeno causador do inverno e do verão é a variação de distância que a Terra está do Sol - “o inverno ocorre porque a Terra está longe do Sol” / “O verão ocorre porque a Terra está perto do Sol”. Ao invés da tradicional repressão do professor (tentar apagar este conhecimento e reescrevê-lo), este pode constatar que existe um conhecimento empírico “certo” sendo aplicado para esta explicação. O referido conhecimento empírico “certo” é a relação do aumento de temperatura com a proximidade de corpos com temperaturas elevadas. É fácil imaginar situações onde o aluno tenha constatado de forma empírica esta relação, por exemplo; quando o aprendiz se afasta e se aproxima de uma fonte de calor.

A Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel, fornece os conceitos teóricos que possibilitam e recomendam a utilização destas concepções como conceitos subsunçores, quando possível. Ou seja, o educador aproveitará os aspectos positivos de uma concepção alternativa como sistema de inter-relação com o conhecimento novo. Com isso valores e novos conceitos serão agregados

à bagagem cognitiva do aluno, o aluno possuirá subsunções “mais qualificados” para formular uma explicação mais científica para um determinado fenômeno.

Ausubel considera que a medida que a Aprendizagem Significativa ocorre mais e mais aparecem conceitos integradores. Este aperfeiçoamento dos significados conceituais ocorre melhor quando se introduzem primeiro os conceitos mais gerais e inclusivos e depois se diferenciam progressivamente estes conceitos em termos de pormenores e especificidades (MOREIRA, 2004).

Acredita-se que é através da Aprendizagem Significativa que as novas idéias aprendidas ficarão por mais tempo disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Sem receio de ser redundante, aprender de forma significativa, nada mais é do que aprender com sentido ou, com significado, este tipo de aprendizagem permite a evocação das idéias aprendidas quando elas se fizerem necessárias, devido ao fato de serem mais estáveis e disponíveis na mente do sujeito.

Para Ausubel, é no decurso da Aprendizagem Significativa que o significado lógico do material apresentado ao sujeito passa a ter significado psicológico. O significado psicológico tem a característica de idiosincrasia, uma vez que é próprio de cada sujeito que aprende. O significado que o sujeito dá ao material aprendido tem também a *marca* do próprio sujeito. Não basta que o material a ser apresentado ao sujeito seja significativo (a maioria dos materiais escolares o são), mas é necessário que o sujeito tenha os “subsunções” necessários para conectar os novos conceitos aprendidos.

Muito embora, a aprendizagem seja idiosincrática, numa determinada cultura, os diferentes membros compartilham muitos conceitos e proposições que são similares, permitindo a compreensão e comunicação interpessoal. Assim, existem muitos conhecimentos que são compartilhados pelo grupo social.

## **4 – METODOLOGIA**

A metodologia utilizada na elaboração desta dissertação de mestrado profissional em ensino de física envolveu, por um lado, o aprofundamento da pesquisa sobre a temática e produção do material de apoio e, por outro lado, a implementação didática do material produzido. Com o objetivo de contemplar esses dois focos foram adotados procedimentos metodológicos. Inicialmente foi realizado o levantamento da literatura em: livros didáticos utilizados no Ensino Médio, livros didáticos utilizados no Ensino Técnico e artigos publicados em revistas especializadas. Posteriormente foi realizado o levantamento de dados para elaboração do material de apoio que envolveu: a identificação do perfil dos alunos com a utilização do questionário (Anexos 2), a identificação do nível do nível de conhecimento dos alunos pesquisados sobre Física das Radiações com a utilização do questionário (Anexo 3) e a pesquisa nas bibliografias específicas.

A seguir foi organizado o material didático e produzido o CD – ROM . Este material foi aplicado a alunos de duas turmas do curso técnico em radiologia e os dados dessa implementação foram analisados.

### **4.1 – Levantamento preliminar na literatura**

O levantamento preliminar na literatura iniciou nos livros textos utilizados no Ensino Médio, e no Ensino Técnico em radiologia focando a abordagem de tópicos de Física das Radiações (Anexo 01). Posteriormente direcionamos o estudo para os livros textos recomendados por instituições conceituadas na área de Física das Radiações, focando no levantamento de referencial qualificado para produzir o material de apoio didático e paradidático de Física das Radiações.

Com a conclusão da primeira etapa houve a concentração do trabalho no levantamento da literatura em artigos publicados e revistas especializadas no ensino de física, focando na identificação das propostas de utilização de uma abordagem do tema de Física das Radiações no Ensino Médio e Técnico.

#### 4.2 – Levantamento de dados e identificação do perfil do aluno

O levantamento de dados e identificação do perfil dos alunos foi realizado com a aplicação de dois questionários específicos. O questionário de identificação do perfil dos alunos (Anexo 2) e o questionário relacionado à identificação do nível de conhecimento dos alunos pesquisados sobre Física das Radiações (Anexo 3) foram aplicados no primeiro semestre de 2007 em duas turmas de 2ª ano do Ensino Médio, uma da Escola Estadual de 2ª Julio de Castilhos e outra da Escola Secundária Infante Dom Henrique (ambas em Porto Alegre). Também aplicamos os mesmos questionários em duas turmas de curso técnico em radiologia da Escola Profissionalizante Fundação Universitária de Cardiologia. O número total de alunos pesquisados foi de 110. As duas turmas do Ensino Médio somaram um total de 58 alunos e as duas turmas do curso de técnico em radiologia somaram um total de 52 alunos.

Os gráficos 01 e 02 organizaram as informações obtidas em relação à faixa etária dos estudantes. Essas informações permitiram a organização do material de apoio assim como as estratégias didáticas a serem utilizadas com os alunos.

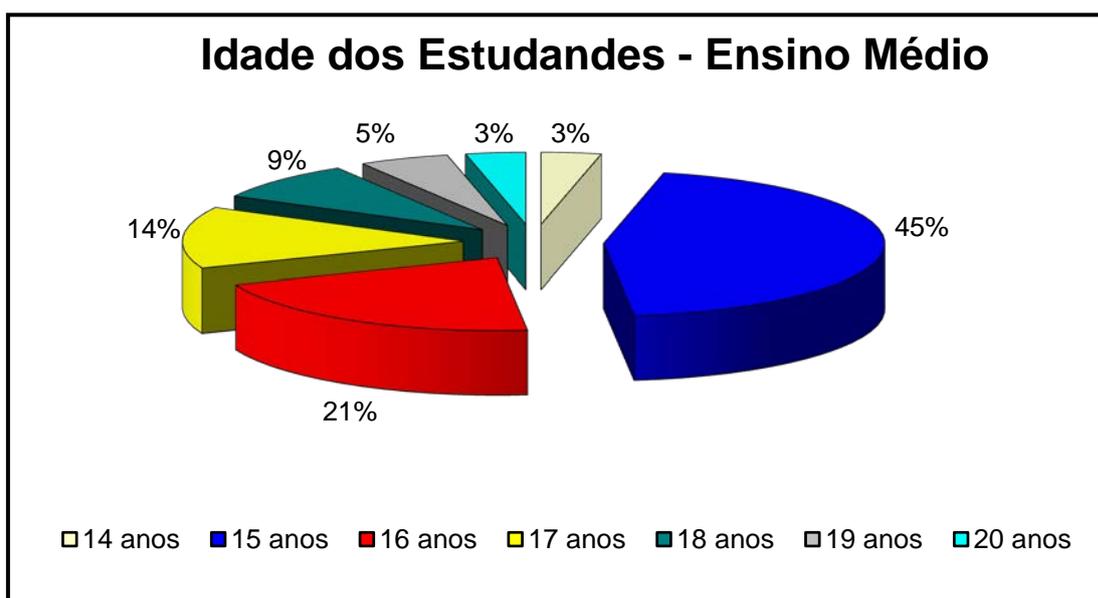


Gráfico 1 – Distribuição do número de alunos em função da idade

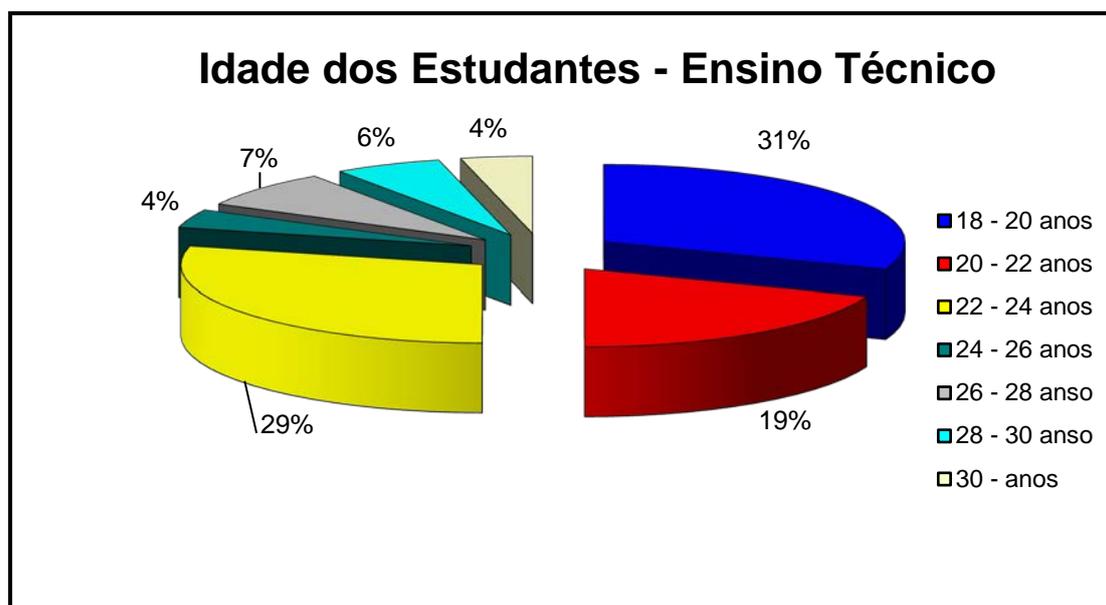


Gráfico 2 – Distribuição do número de alunos em função da idade

#### 4.3 – Levantamento de dados para elaboração do material apoio

Com o objetivo de buscar informações específicas que nos auxiassem na elaboração do material de apoio didático de Física das Radiações foi necessário investigar o que os alunos já conheciam a respeito do assunto: o grau de seu interesse sobre a temática, as fontes de informação que utilizavam, suas curiosidades e expectativas a respeito e suas possíveis concepções alternativas sobre o assunto. Para isso, inicialmente realizamos conversas direcionadas com os alunos através das quais levantamos um conjunto de informações.

Essas informações foram levantadas também por meio do questionário (Anexo 3) e foram utilizados na elaboração do material de apoio didático para o estudo de Física das Radiações. A identificação do nível de conhecimento dos alunos a respeito do assunto possibilitou a definição dos tópicos a serem trabalhados, das lacunas e incompreensões que deveriam ser contempladas e da orientação metodológica a ser seguida.

Com a identificação dos interesses dos alunos foi possível elaborar um

material mais atraente e focado em suas expectativas a respeito do assunto. A identificação das fontes de informações dos alunos possibilitou aprimorar a linguagem, tornando-a mais familiar e também permitiu o reconhecimento de possíveis fontes que justificassem algumas das concepções alternativas (normalmente) consideradas como verdades pelos alunos.

Com o levantamento dos tópicos que são mais atraentes aos alunos foi possível incorporar ao material de apoio assuntos que pudessem motivar os estudantes, o tornando mais facilmente relacionável com o cotidiano dos estudantes e, assim, inserido em sua realidade. Desta forma, os alunos perceberiam a aplicabilidade e utilidade das informações recebidas. No registro das concepções alternativas foram catalogadas as mais frequentes, as quais foram contempladas e discutidas no material de apoio.

Como observamos na revisão da literatura, a falta de materiais relacionados ao estudo de Física das Radiações se reflete na falta de conhecimento dos alunos a respeito do assunto. Também identificamos algumas concepções alternativas dos estudantes, bem como suas possíveis origens em fontes de divulgação.

O questionário de levantamento preliminar de dados (Anexo 2) possuía oito questões. No formulário não havia a necessidade de identificação, dando ao aluno a liberdade de responder às questões sem nenhum tipo de constrangimento.

Com a aplicação do questionário no Ensino Médio e Técnico obtivemos os resultados que apresentaremos a seguir.

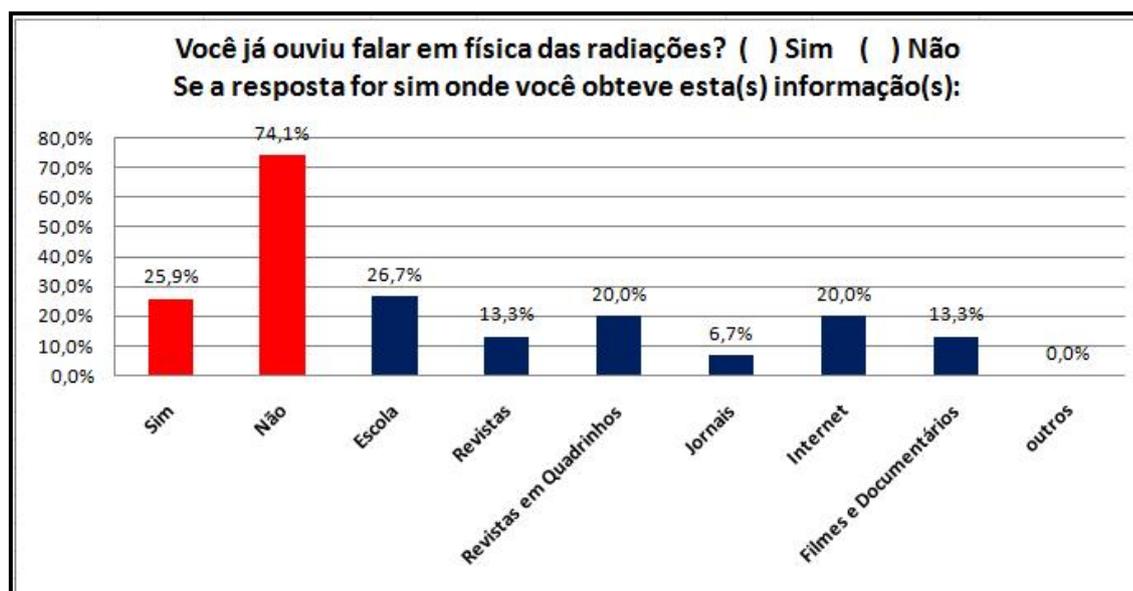


Gráfico 3 – Gráfico questionário inicial - Questão A - Ensino Médio<sup>2</sup>.

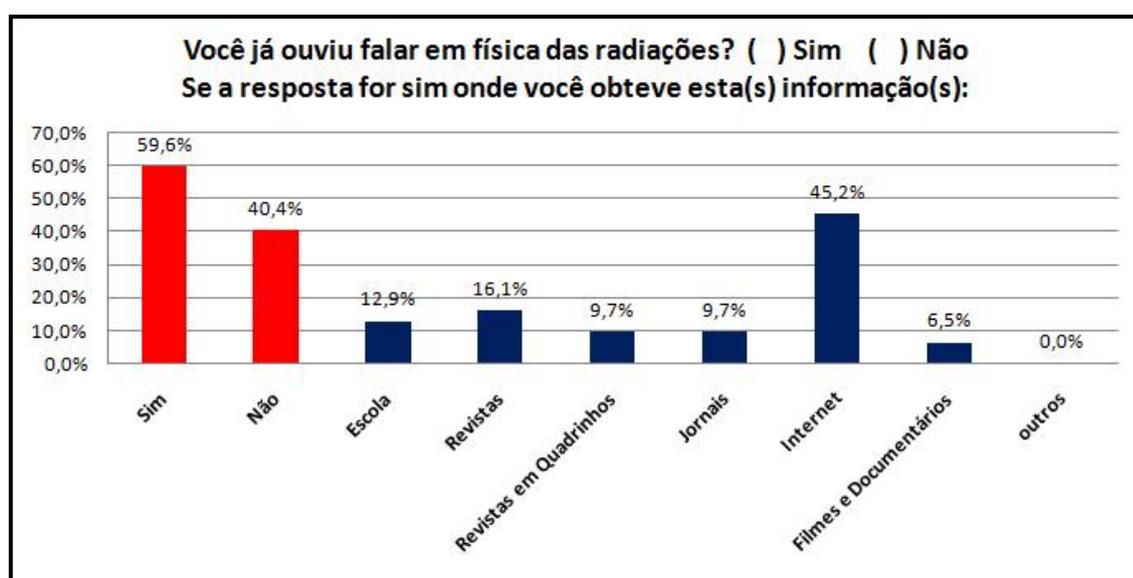


Gráfico 4 – Gráfico questionário inicial - Questão A - Ensino Técnico.

Analisando os Gráficos 3 e 4 podemos observar que a maioria dos alunos do Ensino Médio (74,1 %) não tinha ouvido falar em Física das Radiações e que 59,6 % dos alunos do Ensino Técnico já tinham ouvido falar sobre a temática. Cabe ressaltar que este questionário foi aplicado no início do curso técnico quando os alunos ainda não tinham cursado disciplina específica sobre o assunto.

<sup>2</sup> Os percentuais indicados nos gráficos referem-se a duas questões diferentes por isso a totalização deve ser analisada para cada resposta.

Com relação à fonte de conhecimento verificamos que os alunos do Ensino Médio que conheciam alguma coisa sobre o assunto, em sua maioria, (26,7%) tinham como fonte de informações a escola e entre os alunos do Ensino Técnico (45,2 %) a maior fonte de informação foi a internet.

Considerando o interesse dos alunos que estão ingressando no curso técnico podemos identificar que por iniciativa própria eles buscaram informações referentes ao curso na internet.

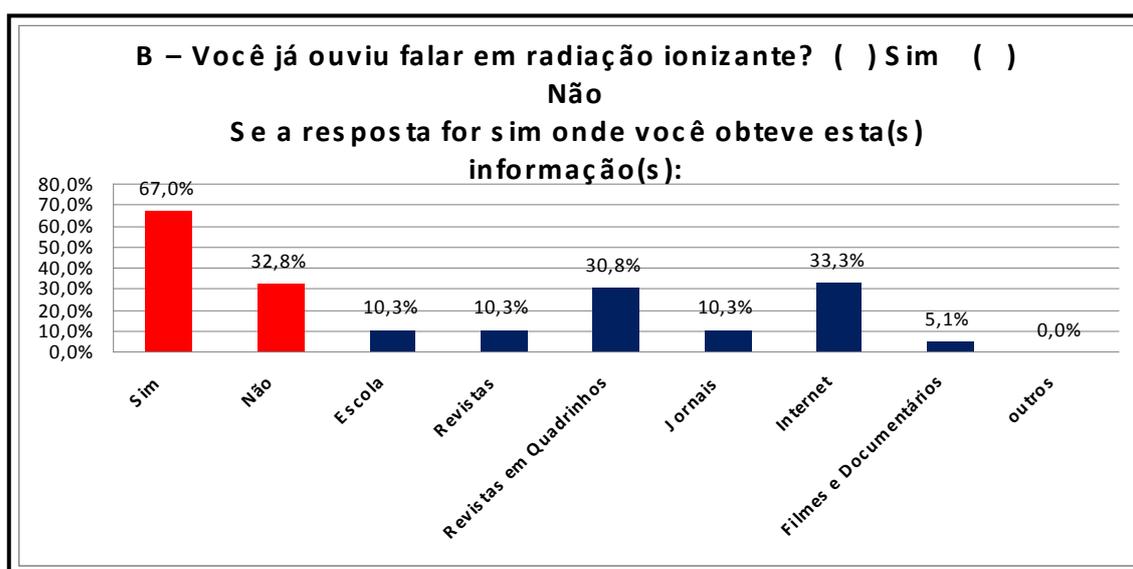


Gráfico 5 – Gráfico da aplicação da questão B para alunos do Ensino Médio.

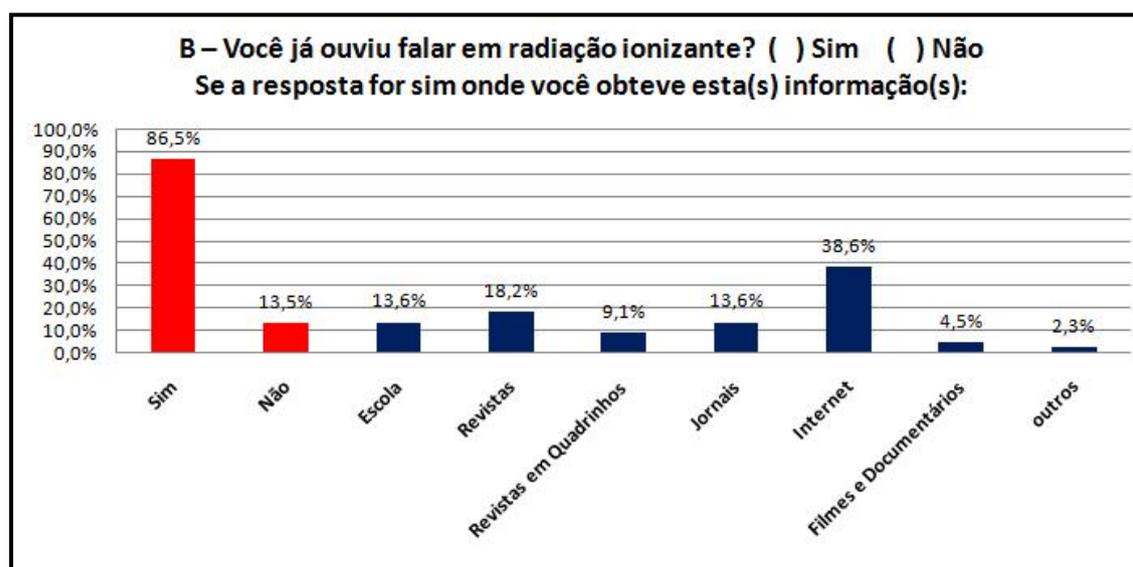


Gráfico 6 – Gráfico da aplicação da questão B para alunos do Ensino Técnico.

Nos Gráficos 5 e 6 verificamos que a maioria dos alunos do Ensino Médio (67,0 %) já tinha ouvido falar a respeito de radiação ionizante e que 86,5 % dos

alunos do Ensino Técnico também já havia ouvido falar de radiação ionizante. Com relação à fonte de conhecimento verificamos que a maioria dos alunos do Ensino Médio (33,3%) que conhecia alguma coisa sobre o assunto tinha como fonte de informações a internet e entre os alunos do Ensino Técnico (38,6 %) a maior fonte de informação também foi a internet. Cabe ressaltar que para os alunos do Ensino Médio as revistas em quadrinhos são importantes fontes de informações com 30,8%, este dados se mostra muito importantes em função de verificarmos uma grande quantidade de informações a respeito de Física das Radiações serem precariamente abobadadas nesta matéria onde certamente podemos classificá-la como uma das fontes principais de concepções alternativas adotadas por muitos alunos.

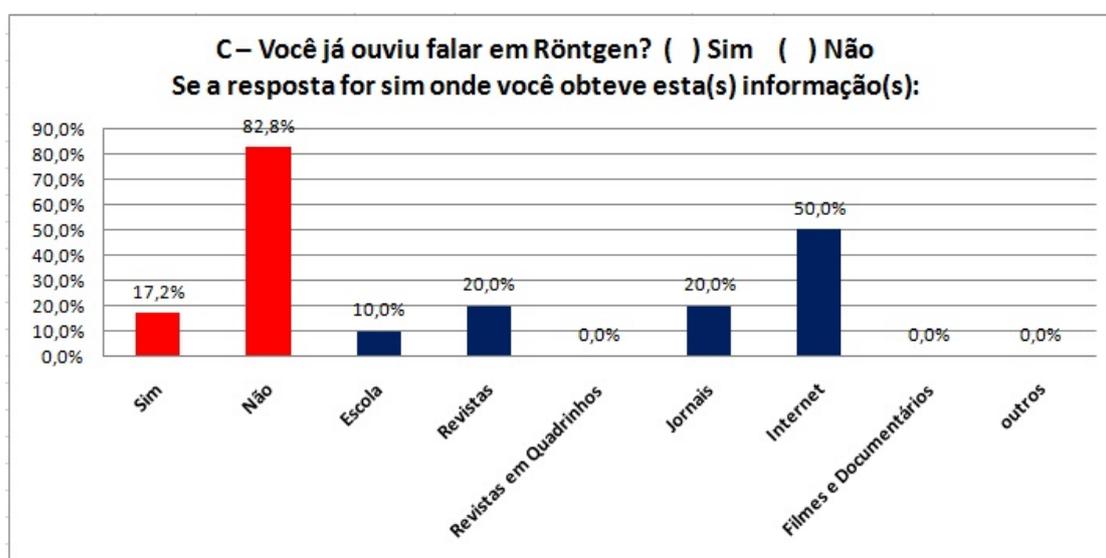


Gráfico 7 – Gráfico da aplicação da questão C para alunos do Ensino Médio.

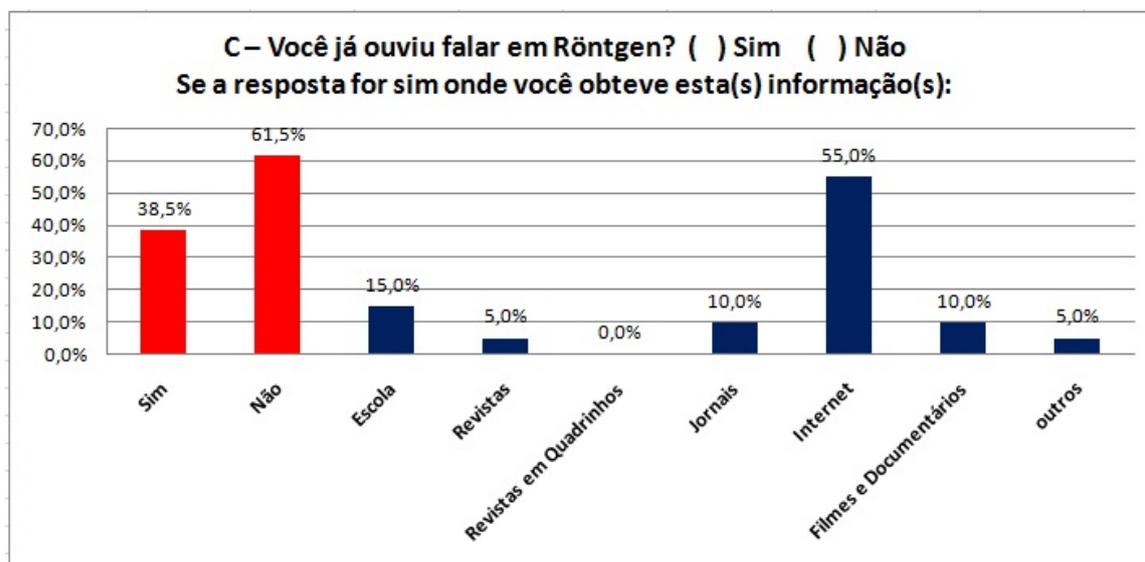


Gráfico 8 – Gráfico da aplicação da questão C para alunos do Ensino Técnico.

Investigando o nível de conhecimento dos alunos com relação aos aspectos histórico identificamos nos Gráficos 7 e 8 que a maioria dos alunos do Ensino Médio, 82,8 %, e do Ensino Técnico, 61,5 %, não tinha ouvido falar a respeito de Röntgen. Com relação à fonte de conhecimento verificamos que os alunos do Ensino Médio que conheciam alguma coisa sobre o assunto, em sua maioria, (50,0%) tinham como fonte de informações a internet e que esta foi a mesma fonte de informação dos alunos do Ensino Técnico (55,0%).

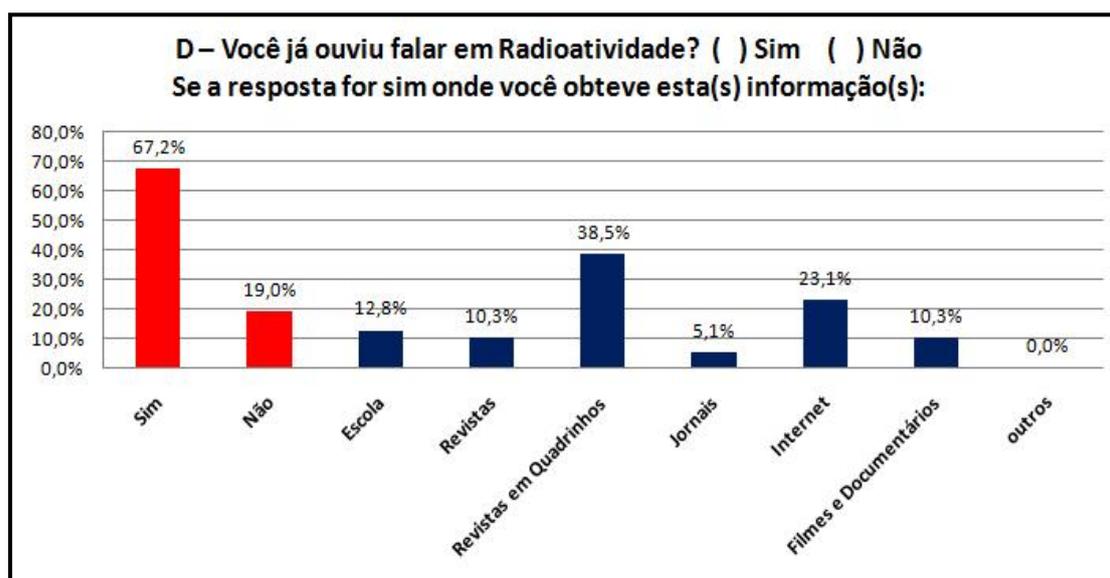


Gráfico 9 – Gráfico da aplicação da questão D para alunos do Ensino Médio.

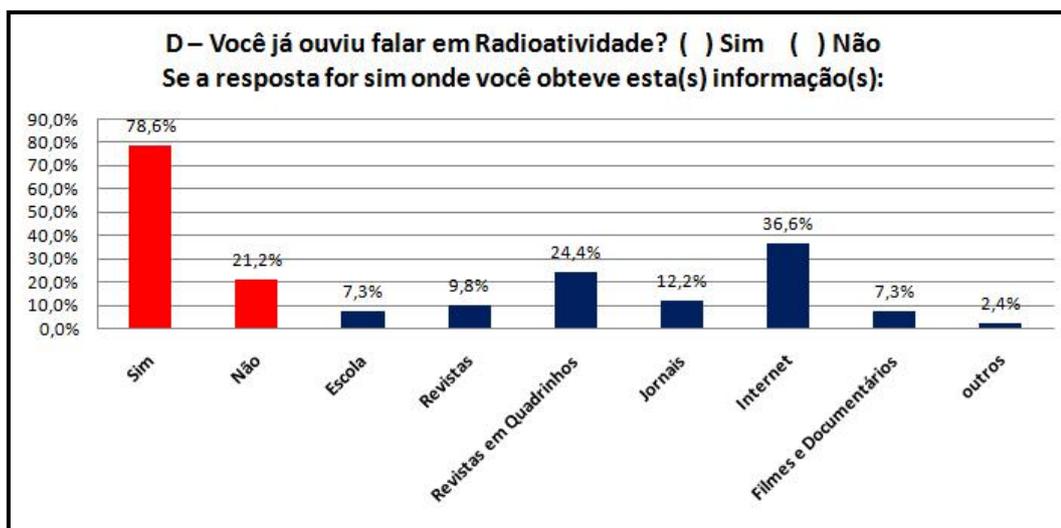


Gráfico 10 – Gráfico da aplicação da questão D para alunos do Ensino Técnico.

Nos Gráficos 9 e 10 verificamos que a maioria dos alunos do Ensino Médio, 67,2 %, bem como a maioria dos alunos Ensino Técnico, 78,6 %, já tinha ouvido falar a respeito de Radioatividade. Com relação à fonte de conhecimento verificamos que os alunos do Ensino Médio que conheciam alguma coisa sobre o assunto, a maioria, (38,5%) tinham como fonte de informações as revistas em quadrinho e entre os alunos do Ensino Técnico (36,6 %) a maior fonte de informação foi a internet, mas também para os estudantes do Ensino Médio (38,5%) as revistas em quadrinho são fonte de informação, já para os alunos do Ensino Técnico este valor cai para (24,4%). Neste caso o tópico de radioatividade contribui para um sensível aumento da utilização das revistas em quadrinhos como fonte de consulta, pois é um assunto muito comentado em histórias com vários personagens diferentes.

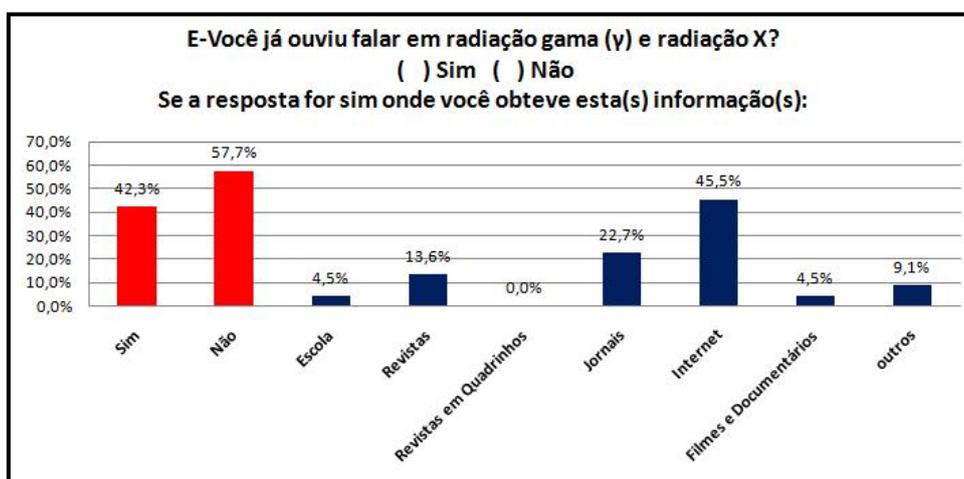


Gráfico 11 – Gráfico da aplicação da questão E para alunos do Ensino Médio.

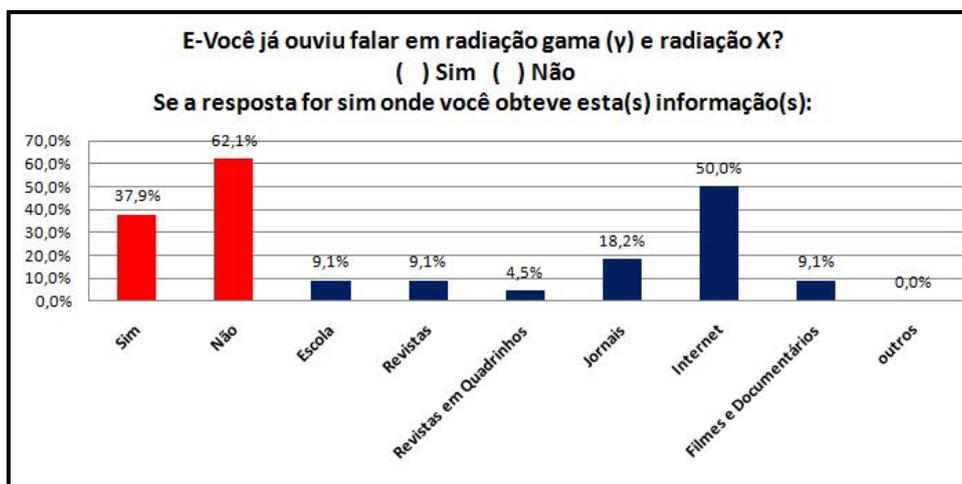


Gráfico 12 – Gráfico da aplicação da questão E para alunos do Ensino Técnico.

Com relação a possuir ou não informação a respeito das radiações eletromagnéticas (X e  $\gamma$ ) constatamos nos Gráficos 11 e 12 que a maioria dos alunos do Ensino Médio, 62,1%, bem como 57,7% dos alunos do Ensino Técnico não tinham ouvido falar a respeito de radiação gama ( $\gamma$ ) e radiação (X). No estudo a respeito da fonte de conhecimento verificamos que os alunos do Ensino Médio que conheciam alguma coisa sobre o assunto, a maioria, (50,0%) utilizavam normalmente como fonte de pesquisa a internet e entre os alunos do Ensino Técnico (45,5%) a maior fonte de pesquisa também foi a internet

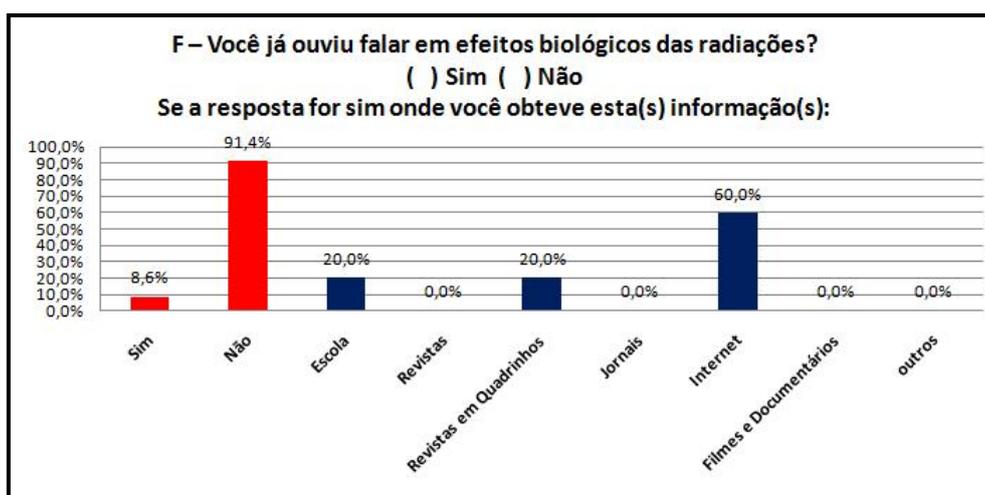


Gráfico 13 – Gráfico da aplicação da questão F para alunos do Ensino Médio.

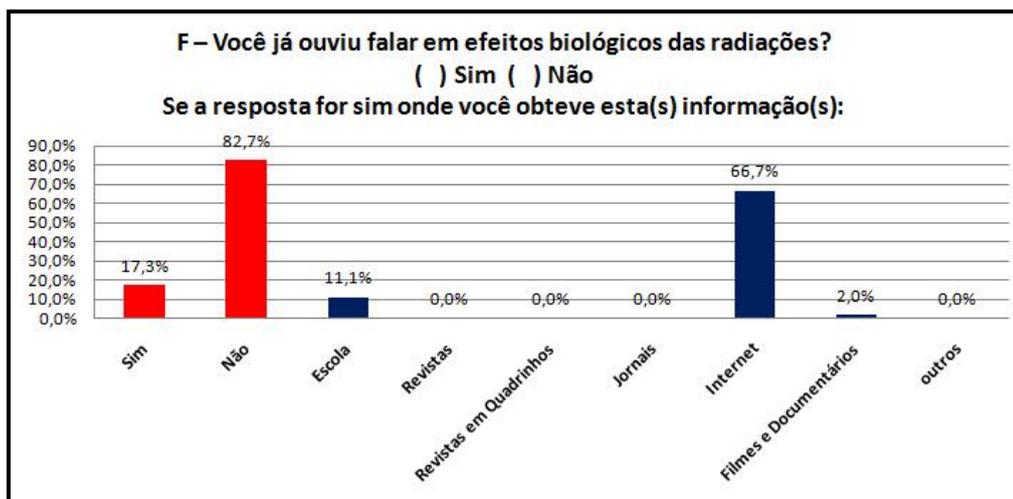


Gráfico 14 – Gráfico da aplicação da questão F para alunos do Ensino Técnico.

Nos Gráficos 13 e 14 verificamos que a maioria dos alunos do Ensino Médio, 91,4%, bem como do Ensino Técnico, 82,7 %, não tinha ouvido falar a respeito dos efeitos biológicos das radiações. Quando focamos a análise do gráfico em função da fonte de conhecimento identificamos que os estudantes do Ensino Médio que conheciam algo relacionado com o assunto, a maioria, (60,0%) possuíam como recurso de levantamento de dados a internet e entre os alunos do Ensino Técnico (66,7 %) a maior fonte de pesquisa também foi a internet.

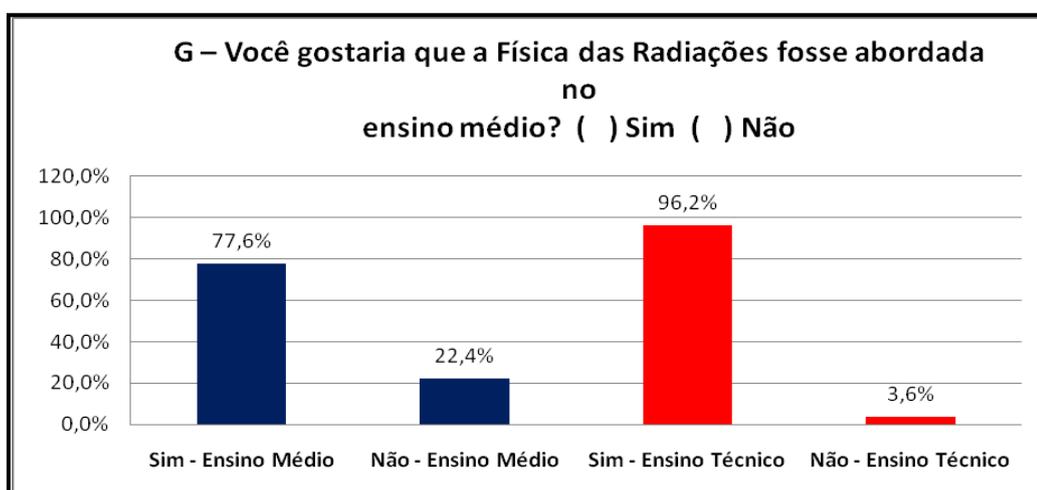


Gráfico 15 – Gráfico estatístico da aplicação da questão G para alunos do Ensino Médio e Técnico.

Analisando o Gráfico 15 podemos verificar que a maioria dos alunos tanto do Ensino Médio, 77,6%, quando do Ensino Técnico, 96,2 %, gostaria que a Física das Radiações fosse abordada no Ensino Médio. Em conversas informais com os estudantes eles comentaram que o estudo de um assunto novo, atual e

relacionado com o cotidiano os motivavam para o desenvolvimento das atividades em sala de aula, bem como com a busca de mais informações a respeito do assunto em horários extra-escoltares. Outro ponto bem sinalizado pelos alunos, como ponto positivo, foi a disponibilidade e utilização de um CD, pois com este material eles estavam habilitados a continuar os estudos em casa e a realizar os exercícios de fixação como também a revisar a última aula.

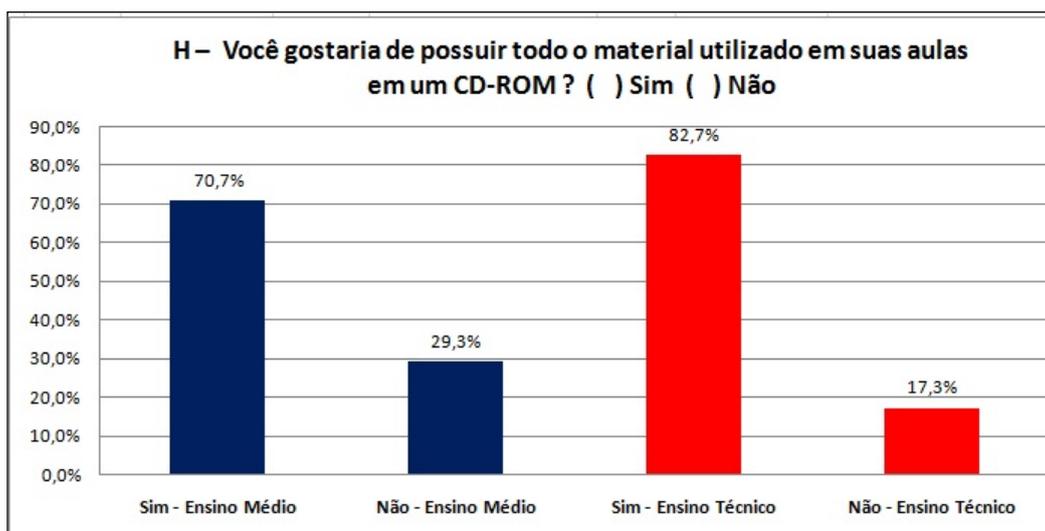


Gráfico 16 – Gráfico estatístico da aplicação da questão H para alunos do Ensino Médio e Técnico.

Analisando os Gráficos 16 podemos verificar que a maioria dos alunos tanto do Ensino Médio, 70,7%, quanto do Ensino Técnico, 82,7 %, gostaria de ter a sua disposição todo o material utilizado nas aulas em um CD-ROM.

O produto da análise de resultados dos dados levantados permitiu que o planejamento do material fosse elaborado em bases concretas e estruturado em uma pesquisa preliminar.

De posse dos dados referentes à aplicação do questionário, percebemos que a falta de material específico se reflete no pouco conhecimento dos estudantes a respeito dos tópicos investigados. A referida falta de material resulta também na busca de informações em fontes alternativas como revistas em quadrinho, internet e etc.

E para finalizar realizamos uma pesquisa focada em oito bibliografias específicas: PSSC (1966), Johns (1983), Wolbarst (1993), Carlton (2001), Curry (1990), Bushong (1999), Hall (2000) e Brown (1999). Estes livros são recomendados por instituições conceituadas e respeitadas na área de Física das Radiações. Destes, seis foram produzidos para serem utilizados no Ensino Superior e um para ser utilizado no Ensino Técnico, sendo todos de autores estrangeiros. Não encontramos bibliografia nacional que abordasse o assunto de Física das Radiações direcionada ao ambiente hospitalar e não foi verificada bibliografia específica para Ensino Médio.

#### **4.4 – Elaboração do material de apoio didático de Física das Radiações**

Utilizando como base as informações obtidas no levantamento preliminar de dados realizado com os alunos. Foi elaborada uma estrutura didática composta de três módulos.

O Módulo 1 – Fundamentos de Física das Radiações, foi elaborado com o objetivo de estudar os aspectos fundamentais de Física das Radiações e este subdividido em cinco subtópicos: Matéria e Energia, Átomo, Radiação Eletromagnética, Radiação Corpuscular e Interação da Radiação com a Matéria.

O Módulo 2 – Fundamentos de Raios X, foi elaborado com o objetivo de estudar os aspectos fundamentais da Radiação X e este organizado em cinco subtópicos: Breve Histórico dos Raios X, Tubo de Raios X, Características dos Raios X, Produção dos Raios X e Emissão dos Raios X.

O Módulo 3 – Radioatividade e Segurança Radiológica, foi elaborado com o objetivo de estudar os fundamentos de Radioatividade e Segurança Radiológica e foi subdividido em três tópicos: Radioatividade, Proteção Radiológica e Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes.

Durante a elaboração do referido material de apoio focamos nossa atenção

na abordagem conceitual. Assim sendo, primamos por conceitos claros e precisos, apoiados em conhecimentos prévios dos alunos, sem dar ênfase aos cálculos. Para tanto, buscamos, sempre que possível, centrar a elaboração do material em situações verificadas no cotidiano as quais contextualizavam o estudo. Também consideramos que o referido material deveria apresentar uma coerência com o corpo do texto, não sendo superficial e respeitando a progressividade conceitual do tema.

Cabe ressaltar que não desprezamos o emprego da matemática relacionada aos tópicos desenvolvidos no texto de apoio, mas privilegiamos os aspectos qualitativos focado no estudo conceitual. No desenvolvimento do material de apoio também tivemos a preocupação de utilizar uma linguagem clara e simples, buscando facilitar a inter-relação das novas informações com os conhecimento presentes na estrutura cognitiva dos estudantes.

#### **4.5 – Produção do CD-ROM**

Com o objetivo de organizar o material de apoio e facilitar sua utilização por alunos e professores foi confeccionado um CD-ROM. No CD-ROM os alunos tinham à disposição todo o material de apoio produzido que poderia ser consultado com o auxílio de ferramentas de *Software*. Era possível a impressão de todo material ou de algumas de suas partes. Cabe comentar que também foram disponibilizados no CD-ROM exercícios de fixação e de avaliação.

Para desenvolver este CD-ROM foi utilizada uma versão *shareware* do programa CDMenuPro Business Edition - CD-Start disponível gratuitamente por 30 dias, cujo *download* foi realizado a partir do *website* da Macromedia. O único pré-requisito para a utilização do CD-ROM produzido nesta dissertação é que o computador utilizado deve possuir instalada alguma versão do *Adobe Acrobat*.

Na Figura 2 apresentamos a tela inicial do CD-ROM Física das Radiações. Ao introduzir o CD-ROM automaticamente a tela ilustrada será apresentada. Na

tela estão disponíveis links visualização: Carta ao Professor, Módulo I, Módulo II, Módulo III, Referencia e Créditos.

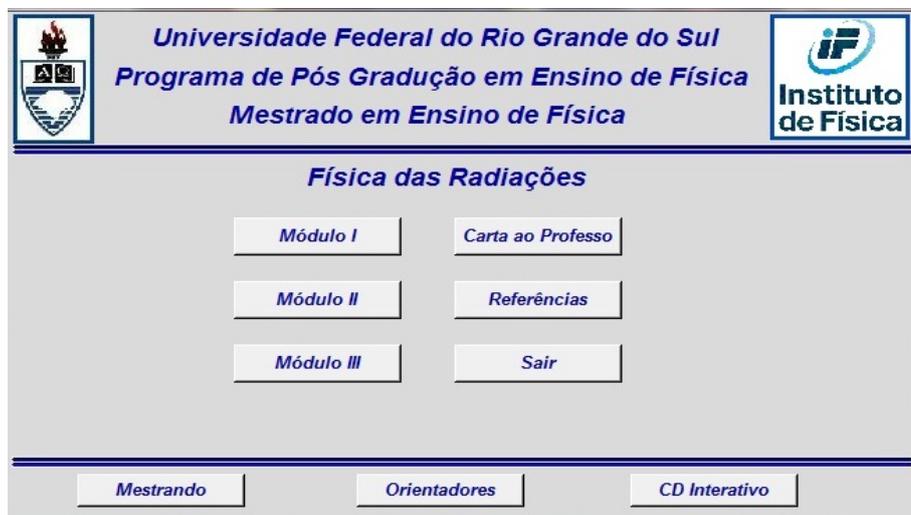


Figura 2 – Tela inicial do CD-ROM Física das Radiações.

Na Figura 3 apresentamos a tela módulo 1 do CD-ROM. Quando o aluno clica no *Módulo 1* visualiza outra tela que apresenta todos os tópicos estudados no módulo. Os tópicos são independentes e estão em formato *Acrobat*. Na mesma tela existem dois links auxiliares um de retorno ao *menu* principal e outro para sair do CR-ROM . Na referida tela serão apresentados seis (06) *links* em forma de botões interativos com os itens: Matéria e Energia, Átomo, Radiação Eletromagnética, Radiação Corpuscular, Interação da Radiação com a Matéria e Questionários.



Figura 3 – Tela Modulo I do CD ROM .

Na Figura 4 apresentamos a tela módulo II do CD-ROM. Quando o aluno clica no *Módulo II* visualiza outra tela que apresenta todos os tópicos estudados no módulo. Os tópicos são independentes e estão em formato *Acrobat*. Na mesma tela existem dois links auxiliares um de retorno ao *menu* principal e outro para sair do CR-ROM. Na referida tela serão apresentados cinco (05) *links* em forma de botões interativos com os itens: Breve Histórico dos Raios X, Tubos de Raios X, Características dos Raios X, Produção dos Raios X, Emissão dos Raios X e Questionários.



Figura 4 – Tela Modulo II do CD ROM.

Na Figura 5 apresentamos a tela módulo III do CD-ROM. Quando o aluno clica no *Módulo III* visualiza outra tela que apresenta todos os tópicos estudados no módulo. Os tópicos são independentes e estão em formato *Acrobat*. Na mesma tela existem dois links auxiliares um de retorno ao *menu* principal e outro para sair do CR-ROM. Na referida tela serão apresentados quatro (04) *links* em forma de botões interativos com os itens: Radioatividade, Proteção Radiológica, Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes e Questionários.

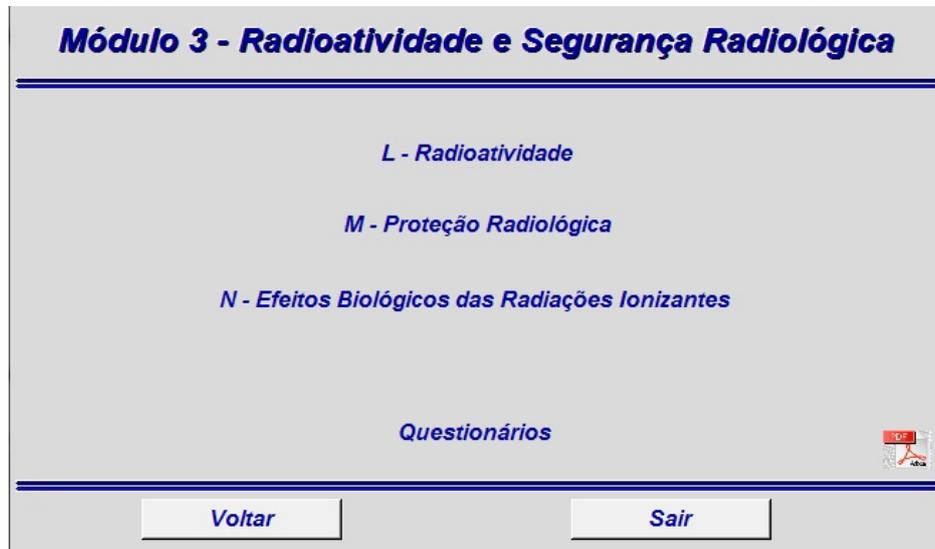


Figura 5 – Tela Modulo III do CD ROM

## 5 – DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DIDÁTICA: APLICAÇÃO DO MATERIAL DE APOIO EM DUAS TURMAS DO CURSO TÉCNICO EM RADIOLOGIA

Como vínhamos discutindo, o trabalho preliminar, apresentado nos levantamentos de dados, foi desenvolvido em turmas do Ensino Médio e técnico. No entanto, a aplicação sistemática e controlada da proposta ocorreu somente em turmas do Ensino Técnico essa escolha seu deu em função da possibilidade de trabalharmos simultaneamente com duas turmas e os recursos de informática disponibilizados pela escola profissional. A proposta foi desenvolvida na Escola Profissional da Fundação Universitária de Cardiologia – Instituto de Cardiologia do Rio Grande do Sul de 16 de outubro a 11 de dezembro de 2008, sempre às quintas-feiras, no horário das 19h às 22h30min. Neste período foi possível a realização de 9 encontros, totalizando 36 horas-aula de trabalho.

Os assuntos abordados no curso são apresentados no quadro a seguir:

Quadro 1 – Organização dos encontros de implementação do material discutidos em cada encontro do curso

<b>Módulo</b>	<b>Encontro</b>	<b>Data</b>	<b>Assuntos Discutidos</b>
Módulo I	1º Encontro	16/10/2008	Matéria e Energia
Módulo I	2º Encontro	23/10/2008	Átomo Radiação Eletromagnética
Módulo I	3º Encontro	30/10/2008	Radiação Corpuscular Interação da Radiação com a Matéria
Módulo II	4º Encontro	06/11/2008	Breve Histórico dos Raios X
Módulo II	5º Encontro	13/11/2008	Tubos de Raios X Características dos Raios X
Módulo II	6º Encontro	20/11/2008	Produção dos Raios X Emissão dos Raios X
Módulo III	7º Encontro	27/11/2008	Radioatividade
Módulo III	8º Encontro	04/12/2008	Proteção Radiológica
Módulo III	9º Encontro	11/12/2008	Efeitos Biológicos das Radiações

O curso iniciou com a apresentação da proposta de trabalho onde listamos os tópicos a serem estudados e um breve comentário dos mesmos. Em seguida foi entregue uma cópia do CD-ROM e explicou-se sua função e a maneira como utilizá-lo. Realizamos o estudo de todos os tópicos de Física das Radiações proposta nesta dissertação na ordem descrita anteriormente. Em cada aula houve um período de explanação do conteúdo na forma de uma aula expositiva seguido da exploração do CD-ROM, da discussão dos fenômenos abordados, da realização de exercícios de fixação correspondentes e da realização de avaliações.

A descrição mais aprofundada será apresentada de maneira que o leitor possa ter uma visão detalhada de como transcorreu a realização das atividades didáticas com a utilização do material produzido de Física das Radiações.

### **5.1 – Contexto de aplicação da experimentação**

O curso de Proteção Radiológica, experiência didática apresentada nesta dissertação, foi realizado na Escola Profissional Fundação Universitária de Cardiologia – Instituto de Cardiologia do Rio Grande do Sul, localizada à Avenida Princesa Isabel, 370 em Porto Alegre no período de 16 de outubro a 11 de Dezembro de 2008, num total de 09 encontros e 36 horas-aula, sempre às quintas-feiras no horário das 19h às 22h30min.

A Escola Profissional Fundação Universitária de Cardiologia foi fundada em 1996 com a primeira turma de Auxiliares de Enfermagem (curso atualmente em extinção).

Esta instituição de ensino caracteriza-se por ser voltada à formação técnica na área da saúde, o que é anunciado em sua missão: “Formar profissionais de nível técnico e básico comprometidos com o desenvolvimento social capazes de desenvolver ações de saúde para a promoção de vida com qualidade”.

Atualmente a Escola profissional possui três cursos técnicos:

01 – Curso Técnico de Enfermagem;

02 – Curso Técnico de Nutrição;

03 – Curso Técnico em Radiologia e Diagnóstico por Imagem.

O Curso Técnico em Radiologia e Diagnóstico por Imagem compreende atividades de aquisição e produção de imagens analógicas e digitais, registradas em filmes ou arquivos digitais, de manipulação e execução de procedimentos técnicos de acordo com as patologias e/ou processos fisiológicos a serem visualizados por diferentes métodos de Diagnóstico por imagem. Além disso, envolve também o preparo dos alunos para ações técnicas de Radioproteção por tratar-se de uma atividade diretamente relacionada ao uso de radiação ionizante e Raios X. O curso aborda ainda questões de gestão de pessoas, de custos, de suporte logístico, de equipamentos e a administração da qualidade das imagens como garantia de apoio ao diagnóstico para a interpretação médica.

A constante transformação do mercado de trabalho leva a escola, enquanto instituição de ensino, a atualizar e alterar o desenho curricular oferecido; tornando-o dinâmico, com um pronto atendimento à demanda, para que esta seja habilitada e competente para a atuação profissional na área escolhida. Com essa política educacional busca-se tornar o aluno produtivo e diferenciado durante o Curso Técnico de sua escolha profissional e formar profissionais modernos, competentes e qualificados. O Curso Técnico em Radiologia e Diagnóstico por Imagem possui uma duração de 20 meses, distribuídos em 5 módulos com 1200 horas teórico/prático e 400 horas de estágio curricular.

As ações dos profissionais das técnicas radiológicas são realizadas em Serviços de Radiologia e Diagnóstico por imagem, públicos ou privados, independentes ou vinculados a hospitais, ambulatorios e em unidades básicas de saúde.

Os locais utilizados para realização das aulas foram as salas de aulas existente na escola e sua biblioteca. Na Escola Profissional Fundação

Universitária de Cardiologia todas as salas de aula possuem: 01 computador com acesso a internet, 01 data show e uma televisão de 29 polegadas. Com relação à biblioteca, ela é equipada com 22 computadores com acesso à internet. Aqui cabe comentar que a escola possui um sistema de rede interna, a qual interliga todos os computadores e disponibiliza um espaço de memória para o professor e seus alunos.

Como comentado, a Escola Profissional é gerenciada pela Fundação Universitária de Cardiologia, que também gerencia o Instituto de Cardiologia, o qual se localiza exatamente à frente da escola. Esta característica possibilita a utilização da estrutura do Instituto de Cardiologia não só como campo de estágio, mas também com um ambiente ideal para realização de aulas práticas e simulações.

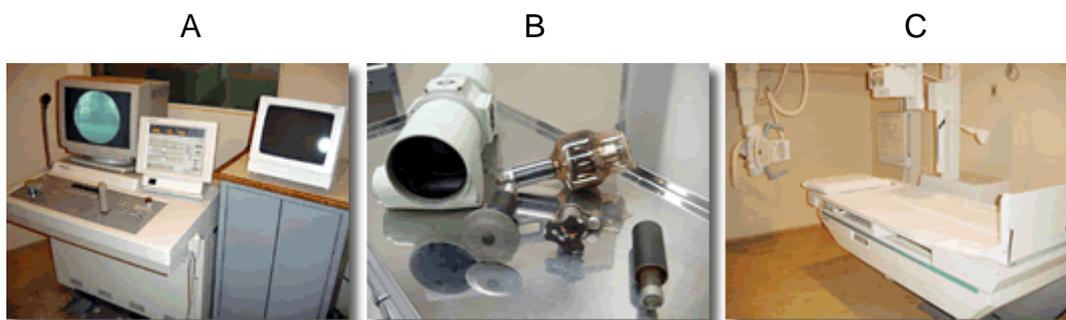


Figura 6 – Imagem A: comando do equipamento de Raios X Telecomandado da marca Shimadzu. Imagem B: tubo de Raios X (especialmente desmontado) para realização de algumas aulas práticas no laboratório. Imagens C: sala de procedimento onde está instalado o equipamento de Raios X Telecomandado da Marca Shimadzu.

## 5.2 – Descrição Geral dos Encontros

Considerando as idéias apresentadas pela Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel, no primeiro contato com os alunos procuramos saber o que os estudantes já sabiam sobre o assunto. Para isso, utilizamos questionários iniciais para os diferentes módulos de ensino com quinze questões objetivas

sobre os assuntos que seriam desenvolvidos em cada módulo (Anexo 4 a 6). Assim, poderíamos saber quais as concepções iniciais dos alunos sobre os assuntos listados e identificar e delimitar os subsunçores existentes nas estruturas cognitivas dos estudantes. O mesmo questionário foi utilizado no final do encontro para a verificação quantitativa da aprendizagem dos estudantes (Anexo 4 a 6).

Os módulos foram trabalhados em três encontros o que possibilitou a divisão dos questionários por três. Sendo assim, em cada encontro realizado aplicamos, no início e no final do mesmo, um questionário de cinco questões.

Com o objetivo de estabelecer uma comunicação entre os conhecimentos prévios, identificados com auxílio da aplicação do questionário inicial aos alunos, dirigimos nossa aula expositiva de maneira a questionar e discutir as concepções preexistentes a respeito do assunto pelos estudantes.

No início de cada encontro tínhamos como objetivo o desenvolvimento conceitual a respeito do assunto específico estudado. Sempre considerando que muitos dos tópicos estudados normalmente são carregados de concepções alternativas, o que gera grande quantidade de dúvidas e, conseqüentemente, dificuldade em seu estudo.

Após o desenvolvimento preliminar dos princípios físicos principais o professor induziu uma discussão a respeito da matéria, para isso, os alunos foram questionados a respeito de uma definição mais fundamental do tópico estudado e foram questionados a respeito de algumas concepções alternativas relacionadas com o assunto trabalhado.

No período de desenvolvimento deste tópico foi disponibilizado para os estudantes o CD-ROM, possibilitando ao aluno dar continuidade em seus estudos em casa.

A utilização do CD-ROM pelo professor em sala de aula foi desenvolvida

em dois tópicos. O primeiro tópico estava relacionado com o desenvolvimento dos aspectos conceituais em aula uma expositiva. No segundo tópico estava focado na resolução das questões de fixação propostas no roteiro.

Assim sendo, os textos desenvolvidos para cada um dos módulos de ensino específicos foram lidos e discutidos pelo grupo. Nas discussões, motivadas pela leitura dos referidos textos, enfatizamos os conceitos físicos fundamentais e solicitamos que os estudantes respondessem novamente ao questionário de levantamento de informações.

No último encontro aplicamos um questionário para que os alunos avaliassem o material de apoio, bem como sua aplicação (Anexo 7).

### **5.3 – Análise e avaliação do material de apoio proposto por esta dissertação e sua aplicação**

Como comentados anteriormente, o material de apoio é dividido em módulos e cada um destes foi trabalhado em três encontros, totalizando doze horas aula por módulo, o que deixou o curso com um total de trinta e seis horas-aula. Em cada módulo foram aplicados dois instrumentos avaliativos com diferentes objetivos.

O objetivo do primeiro instrumento de levantamento de informação era identificar o nível de conhecimento do estudante a respeito dos diferentes assuntos e identificar conhecimentos prévios que pudessem tornar-se subsunçores para conceitos trabalhados durante o desenvolvimento didático. Esses instrumentos consistiam em questionários com perguntas objetivas (Anexo 4, 5 e 6).

O segundo conjunto de instrumentos constitui-se no mesmo questionamento inicial, organizado de maneira que ao final de cada encontro de trabalho um conjunto de questões fosse respondido. Assim, cada questionário

(Anexo 4 a 6) foi subdividido em três subquestionários aplicados conforme apresentado no quadro a seguir:

Quadro 2 – Organização das atividades de avaliação

<b>Módulo</b>	<b>Encontro/Data</b>	<b>Questionário</b>	<b>Questões</b>
Módulo I	1º - 16/10/2008	Anexo 4	1 a 5
	2º - 23/10/2008		6 a 10
	3º - 30/10/2008		11 a 15
Módulo II	4º - 06/11/2008	Anexo 5	1 a 5
	5º - 13/11/2008		6 a 10
	6º - 20/11/2008		11 a 15
Módulo III	7º - 27/11/2008	Anexo 6	1 a 5
	8º - 04/12/2008		6 a 10
	9º - 11/12/2008		11 a 15

## 6 – RESULTADOS

### 6.1 – Apresentação e discussão dos resultados obtidos na aplicação do material de apoio de Física das Radiações nos encontros

Segundo Ausubel (MOREIRA, 2004), no processo de assimilação, os conceitos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos se modificam. Os referidos conceitos adquirem novos significados, o que está associado a uma alteração constante dos conceitos subsunçores, que estão em constante mudança, adquirindo novos significados.

A Aprendizagem Significativa caracteriza-se pela interação de uma informação a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do sujeito. Uma informação é aprendida de forma significativa quando se relaciona a outras idéias, proposições ou conceitos *relevantes* e *inclusivos* que estejam claros e disponíveis na mente do indivíduo e funcionem como âncoras. Sendo assim, com a aquisição das “idéias âncoras” o conceito passará a ter significado para o aluno. Objetivando acelerar este processo, Ausubel sugere a manipulação da estrutura cognitiva do aluno através do uso de organizadores prévios.

Com o objetivo de evidenciar uma possível Aprendizagem Significativa a respeito de Física das Radiações realizamos uma série de atividades de avaliações durante a realização dos encontros. Essas atividades foram analisadas e os dados serão apresentados e discutido na próxima seção desta dissertação. Conforme comentado anteriormente, utilizamos o mesmo questionário no início do módulo e no término de cada encontro. Assim, poderíamos detectar e quantificar a evolução dos estudantes quanto aos conceitos abordados.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia do Módulo 1 e na avaliação final, realizada no primeiro encontro, gráfico 17, percebemos um aumento significativo na porcentagem média de acertos. A porcentagem média de acertos aumentou de 21,2% para 85,4%. Considerando

que Matéria e Energia (assunto foco das primeiras 5 questões da lista de exercício – Questionário Módulo I / Anexo 4) são tópicos comumente abordados no Ensino Médio estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença pequena entre as duas avaliações, mas como apresentado no gráfico 17 foi constatado uma grande variação entre os acertos.

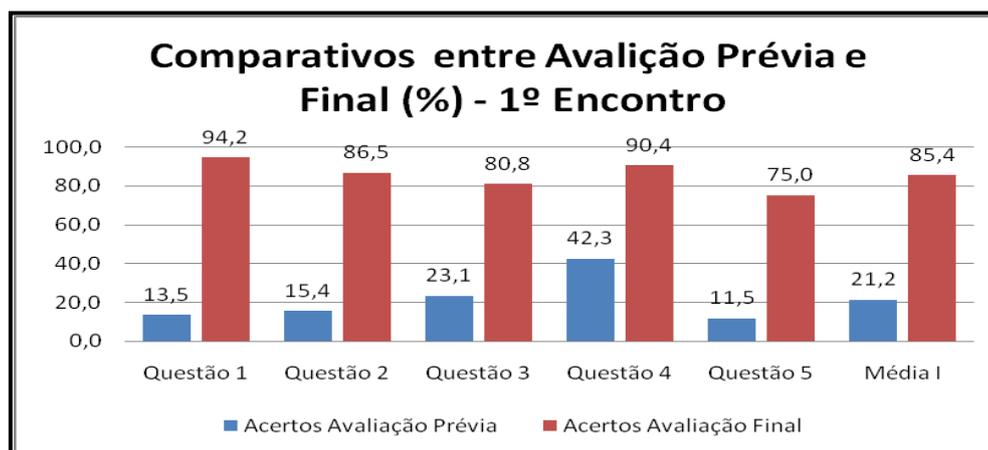


Gráfico 17 – Gráfico da avaliação prévia – 1º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e na avaliação final realizada no segundo encontro, gráfico 18, percebemos um aumento significativo na porcentagem média de acertos. A porcentagem média de acertos aumentou de 22,3% para 79,6%. Considerando que Átomo e Radiação Eletromagnética (assunto foco das questões 6 a 10 da lista de exercício – Questionário Módulo I / Anexo 4) são tópicos comumente abordados no Ensino Médio estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença pequena entre as duas avaliações, mas como apresentado no gráfico 18 foi constatado uma grande variação entre os acertos.

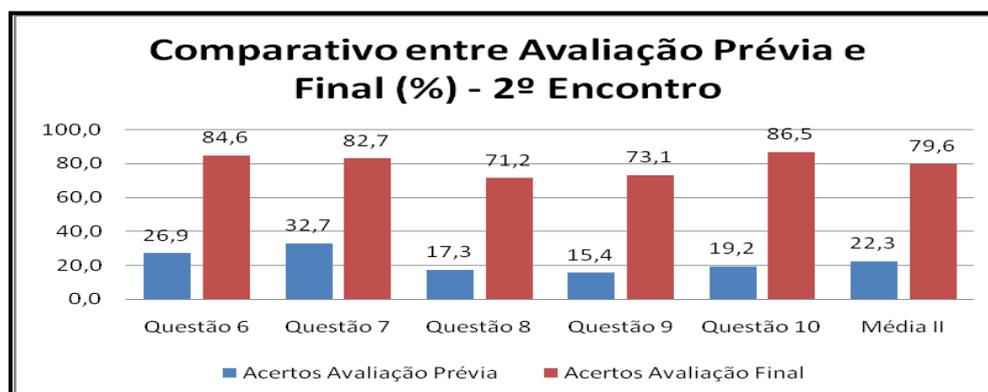


Gráfico 18 – Gráfico da avaliação prévia – 2º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e na avaliação final realizada no terceiro encontro, gráfico 19, percebemos um aumento significativo na porcentagem média de acertos. A porcentagem média de acertos aumentou de 18,8% para 78,8%. Considerando que Radiação Corpuscular e Interação da Radiação com a Matéria (assunto foco das questões 11 a 15 da lista de exercício – Questionário Módulo I / Anexo 4) não são tópicos comumente abordados no Ensino Médio e o fato do material disponível para os alunos não enquadrarem o conteúdo com a realidade do aluno estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença grande entre as duas avaliações, o que foi evidenciado no gráfico 19 onde foi constatado uma grande variação entre os acertos.

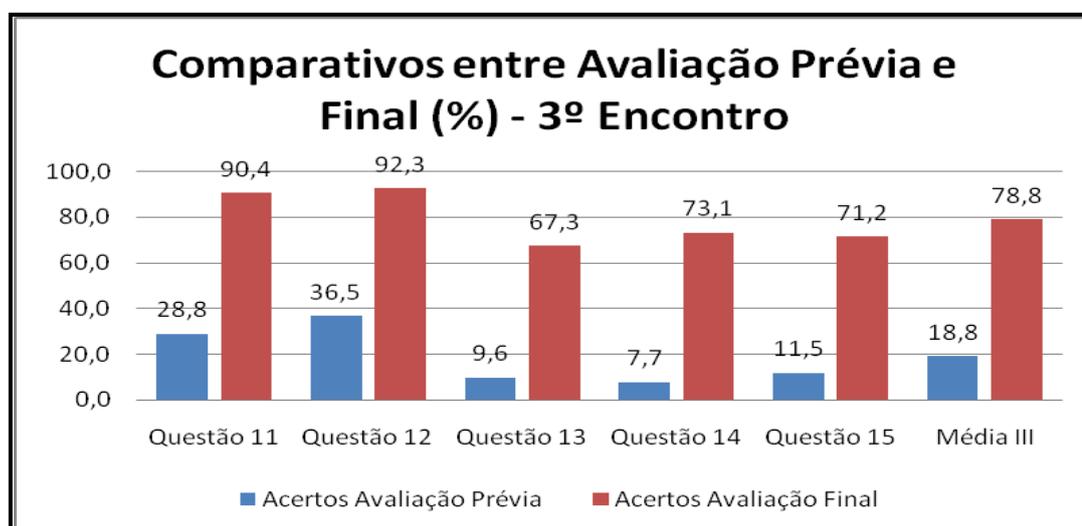


Gráfico 19 – Gráfico da avaliação prévia – 3º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e na avaliação final realizada no quarto encontro, gráfico 20, percebemos um aumento significativo na porcentagem média de acertos. A porcentagem média de acertos aumentou de 17,3% para 85,4%. Considerando que a História dos Raios X (assunto foco das questões 1 a 5 da lista de exercício – Questionário Módulo II / Anexo 5) não é um assunto comumente abordado no Ensino Médio estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença grande entre as duas avaliações, o que foi evidenciado no gráfico 20 onde foi constatado uma grande variação entre os acertos. A falta de conhecimento verificado na avaliação prévia pode também ser justificada pela especificidade do assunto e a

pouca disponibilidade de materiais qualificados disponíveis para estes alunos.

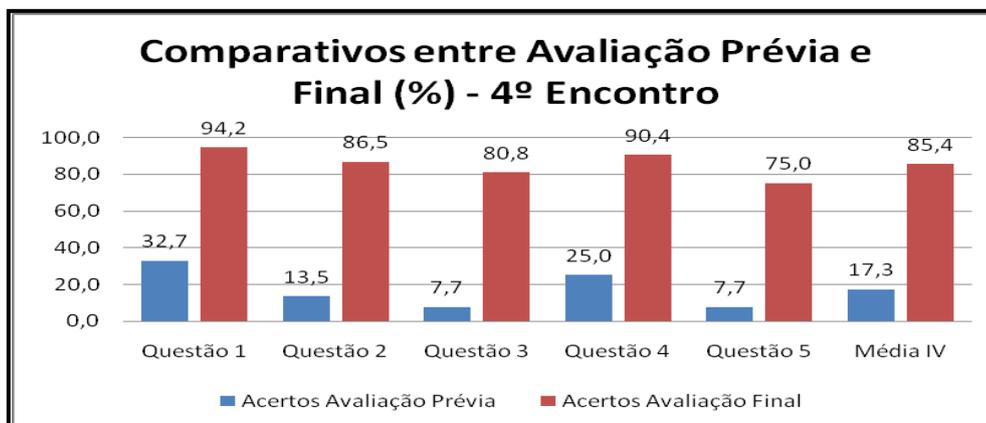


Gráfico 20 – Gráfico da avaliação prévia – 4º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e na avaliação final realizada no quinto encontro, gráfico 21, percebemos um aumento significativo na porcentagem média de acertos. A porcentagem média de acertos aumentou de 16,9% para 80,0%. Considerando que Tubo de Raios X e Características dos Raios X (assunto foco das questões 6 a 10 da lista de exercício - Questionário Módulo II / Anexo 5) não são assuntos comumente abordados no Ensino Médio estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença grande entre as duas avaliações, o que foi evidenciado no gráfico 21 onde foi constatado uma grande variação entre os acertos. A falta de conhecimento verificado na avaliação prévia pode também ser justificada pela verificação de algumas concepções alternativas presentes em algumas questões trabalhadas neste encontro, concepções estas produzidas pelos materiais de consulta utilizados pelos alunos: revistas em quadrinhos, cinema, etc.

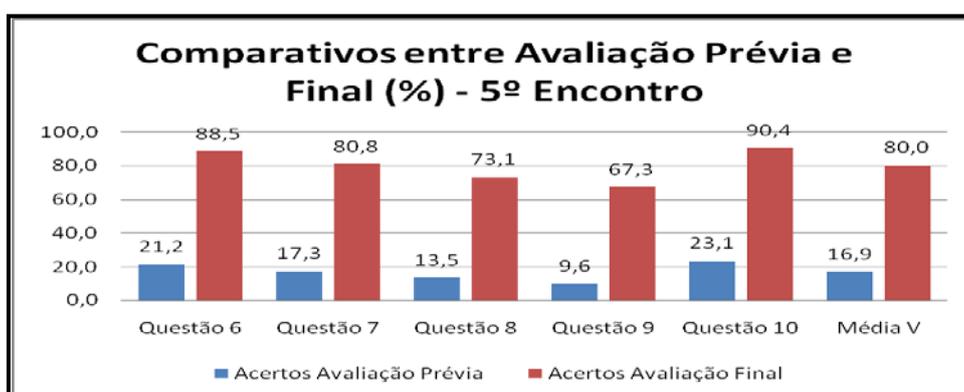


Gráfico 21 – Gráfico da avaliação prévia – 5º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e na avaliação final realizada no sexto encontro, gráfico 22, percebemos um aumento significativo na porcentagem média de acertos. A porcentagem média de acertos aumentou de 7,7% para 70,40%. Considerando que Produção dos Raios X e Características dos Raios X (assunto foco das questões 11 a 15 da lista de exercício - Questionário Módulo II / Anexo 5) não são assuntos comumente abordados no Ensino Médio estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença grande entre as duas avaliações, o que foi evidenciado no gráfico 22, onde foi constatado uma grande variação entre os acertos. A falta de conhecimento verificado na avaliação prévia pode também ser justificada pela especificidade do assunto e a pouca disponibilidade de materiais qualificados para estes alunos.

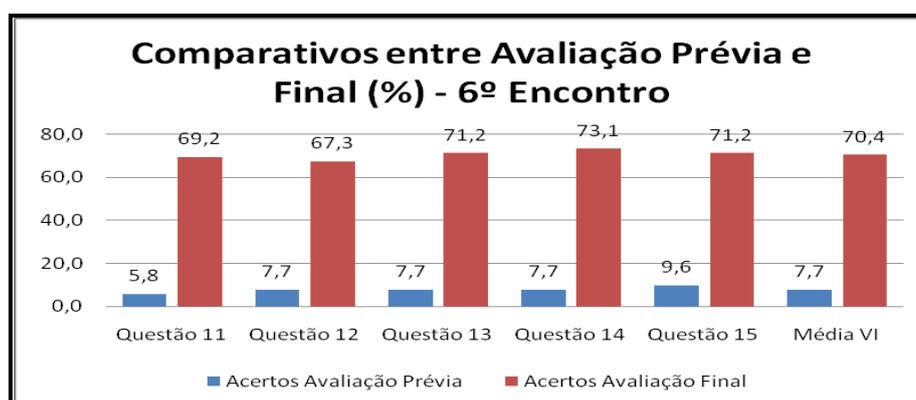


Gráfico 22 – Gráfico da avaliação prévia – 6º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e na avaliação final realizada no sétimo encontro, gráfico 23, percebemos um aumento significativo na porcentagem média de acertos. A porcentagem média de acertos aumentou de 25,0% para 90,0%. Considerando que Radioatividade (assunto foco das questões 1 a 5 da lista de exercícios - Questionário Módulo III / Anexo 6) não é um assunto comumente abordado no Ensino Médio estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença grande entre as duas avaliações, o que foi evidenciado no gráfico 23, onde foi constatado uma grande variação entre os acertos. A falta de conhecimento verificado na avaliação prévia pode também ser justificada pela especificidade do assunto e a pouca disponibilidade de materiais qualificados

disponíveis para estes alunos como também a grande variedade de concepções alternativas relacionadas com a Radioatividade. Estas concepções alternativas são apresentadas em revistas em quadrinho, cinema, livros didáticos, etc.

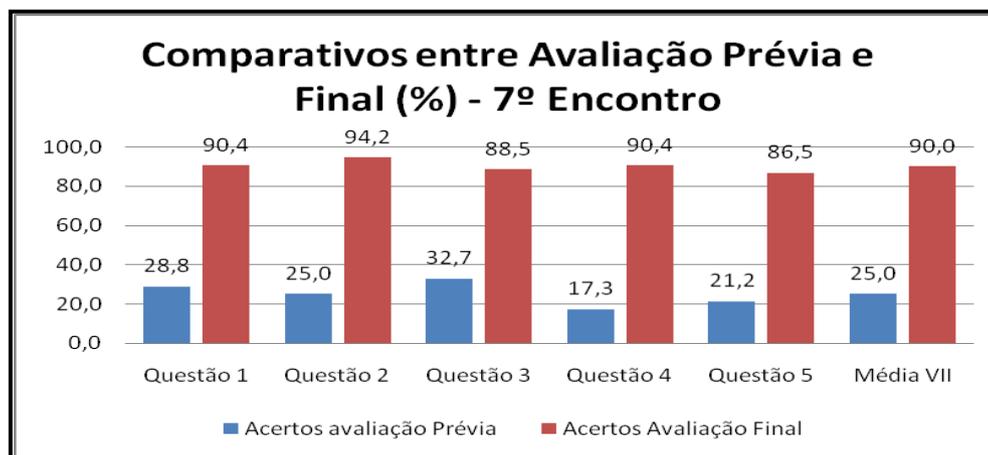


Gráfico 23 – Gráfico da avaliação prévia – 7º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e avaliação final realizada no oitavo encontro, gráfico 24, percebemos um aumento significativo na percentagem média de acertos. A percentagem média de acertos aumentou de 12,3% para 86,2%. Considerando que Proteção Radiológica (assunto foco das questões 6 a 10 da lista de exercícios - Questionário Módulo III / Anexo 6) não é assunto comumente abordado no Ensino Médio, estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença grande entre as duas avaliações, o que foi evidenciado no gráfico 24, onde foi constatado uma grande variação entre os acertos. A falta de conhecimento verificado na avaliação prévia pode também ser justificada pela especificidade do assunto e a pouca disponibilidade de materiais qualificados disponíveis para estes alunos.

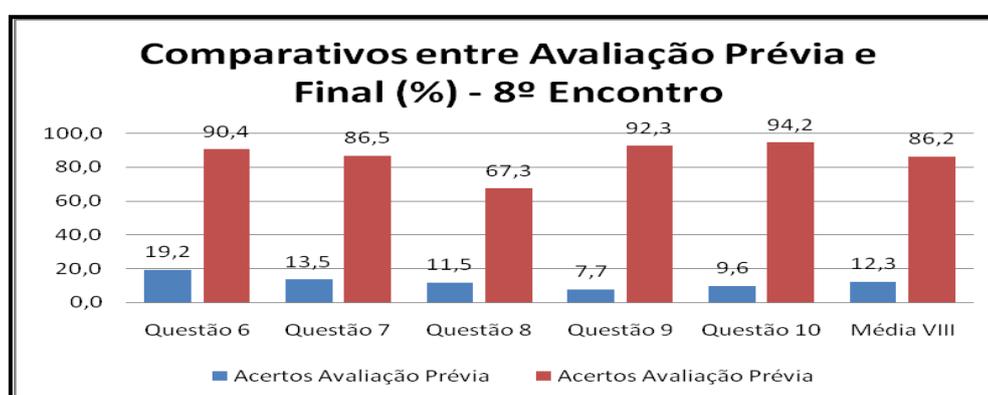


Gráfico 24 – Gráfico da avaliação prévia – 8º encontro.

No comparativo estabelecido entre as respostas obtidas na avaliação prévia e na avaliação final realizada no nono encontro, gráfico 25, percebemos um aumento significativo na percentagem média de acertos. A percentagem média de acertos aumentou de 11,5% para 86,9%. Considerando que Efeitos Biológicos das Radiações (assunto foco das questões 11 a 15 da lista de exercício - Questionário Módulo III / Anexo 6) não é assunto comumente abordado no Ensino Médio estávamos trabalhando com a hipótese da verificação de uma diferença grande entre as duas avaliações, o que foi evidenciado no gráfico 25, onde foi constatado uma grande variação entre os acertos. A falta de conhecimento verificado na avaliação prévia pode também ser justificada pela especificidade do assunto e a pouca disponibilidade de materiais qualificados disponíveis para estes alunos. A falta de informação sobre Efeitos Biológicos das Radiações está intimamente relacionada a uma grande quantidade de material desqualificado que trabalha com este tema apresentado no cinema, na internet e em revistas em quadrinhos.

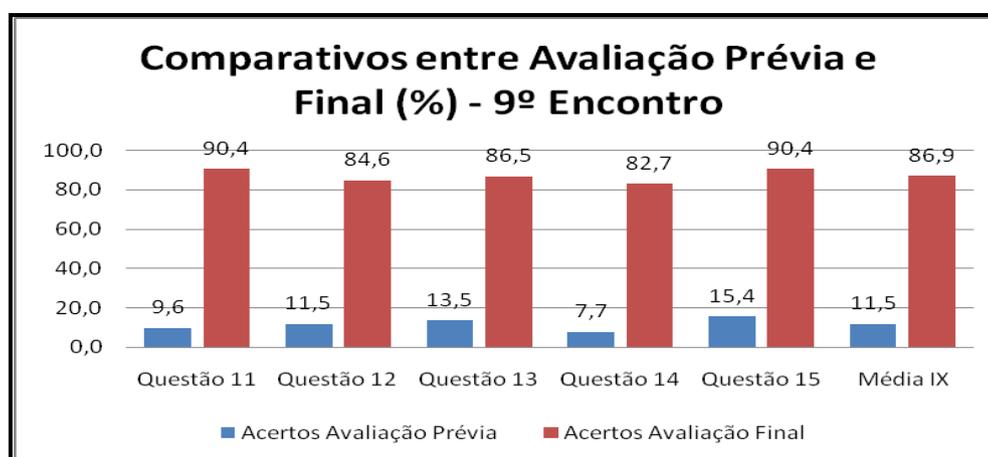


Gráfico 25 – Gráfico da avaliação prévia – 9º encontro.

Com o objetivo de analisar e avaliar a aplicação do material de apoio de um ponto de vista geral realizamos o cálculo da percentagem média geral de acertos e erros obtidos na avaliação prévia e comparamos com a percentagem média geral de acertos e erros obtidos na avaliação final, gráfico 26, percebendo que a percentagem média geral de acertos final apresenta um aumento significativo quando comparamos com a percentagem média geral prévia. Analisando a percentagem media de erros, percebemos que a percentagem média geral de

erros final apresenta uma diminuição significativa quando comparamos com a porcentagem média geral prévia. A porcentagem média geral de acertos aumentou de 17,0 para 82,3% e a porcentagem média geral de erros diminuiu 83,0% para 17,7%.

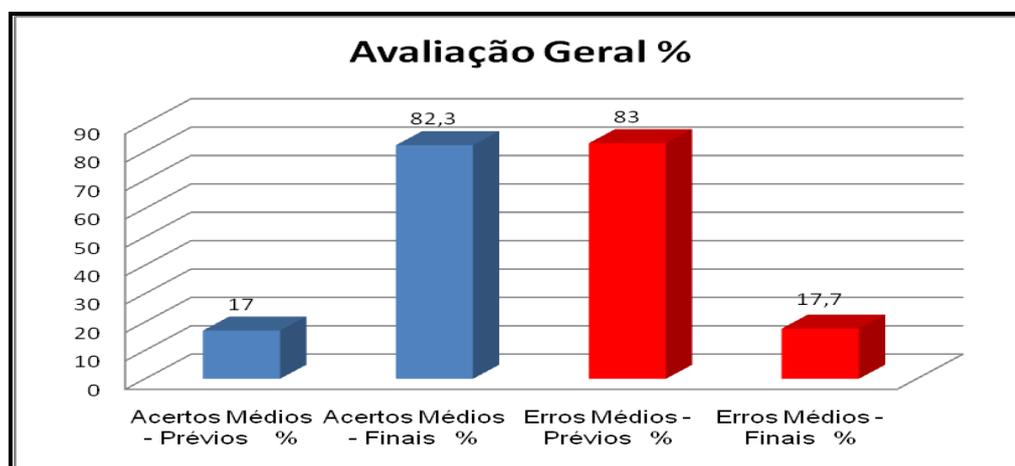


Gráfico 26 – Gráfico estatístico da avaliação geral.

Somando os bons resultados obtidos pelos estudantes nas avaliações realizadas durante os encontros com nosso acompanhamento durante as aulas, pelas discussões levantadas nas tarefas realizadas e, até mesmo, pelo acompanhamento individual a cada aluno podemos avaliar que a maioria dos objetivos da nossa proposta foi alcançada. Os dados corroboram nossa opinião de utilizar a Física das Radiações como elemento motivador para o ensino de ciências.

Quando os estudantes percebem que os assuntos a serem aprendidos estão relacionados com o seu cotidiano e têm alguma ligação com o que conhecem e os interpretam como potencialmente significativo para suas vidas, desenvolvem uma motivação maior para a aprendizagem, uma vez que esses novos conhecimentos passam a fazer sentido. Assim, entendemos que o currículo das escolas deve sofrer uma atualização focada no ensino de Física Contemporânea e em assuntos que fazem parte da vida cotidiana dos alunos e que a idéia de desenvolver um material de apoio didático e paradidático para o ensino de Física das Radiações, fundamentados na teoria da Aprendizagem Significativa, pode ser considerada uma experiência bem sucedida.

## 6.2 – Apresentação e discussão dos resultados obtidos com o questionário de avaliação do material de apoio e aplicação da proposta pelos alunos

Como programado, aplicamos aos alunos o questionário de avaliação do material de apoio e aplicação da proposta o qual era constituído por 7 questões objetivas. No gráfico 27, podemos verificar que 82,7% dos alunos gostou bastante do curso de Física das Radiações, 11,5% gostou mais ou menos e apenas 5,8 % não gostou.

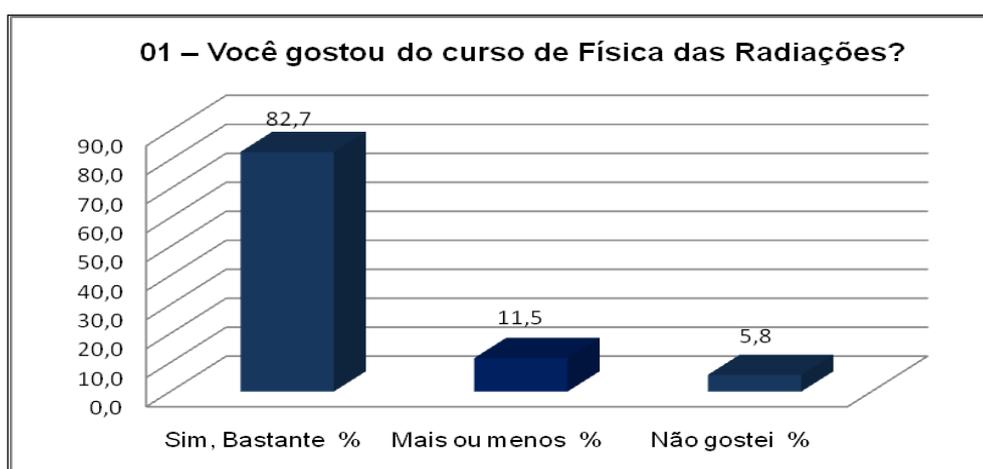


Gráfico 27 – Gráfico estatístico da aplicação da questão 01 para alunos.

No gráfico 28, podemos verificar que 90,4% dos alunos gostou bastante do CD – ROM para consulta dos assuntos abordados no curso de Física das Radiações, 7,7% gostou mais ou menos e apenas 1,9% não gostou.

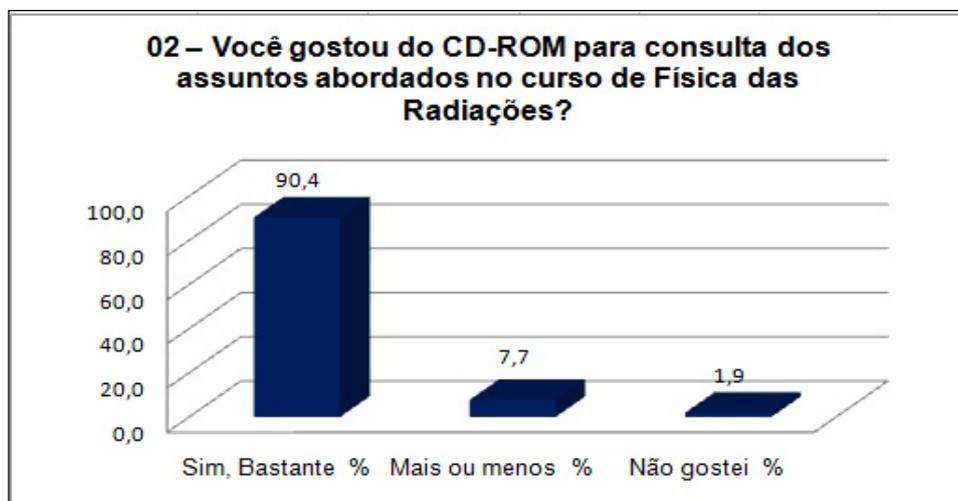


Gráfico 28 – Gráfico estatístico da aplicação da questão 02 para alunos.

No gráfico 29, podemos verificar que 69,24% dos alunos gostou bastante do texto sobre Física das Radiações apresentado no material de apoio, 21,2% gostou mais ou menos e apenas 9,6% não gostou.

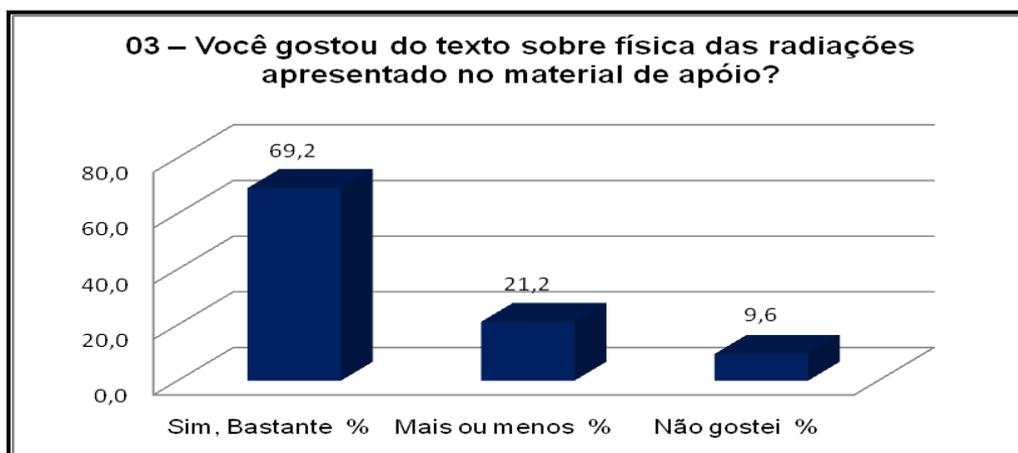


Gráfico 29 – Gráfico estatístico da aplicação da questão 03 para alunos.

No gráfico 30, podemos verificar que 76,9 % dos alunos acredita que as explicações do professor, paralelo ao desenvolvimento do material de apoio de física das radiações em sala de aula contribuíram bastante para sua aprendizagem, 15,4% acredita que contribuíram mais ou menos e apenas 7,7% acredita que não contribuíram.

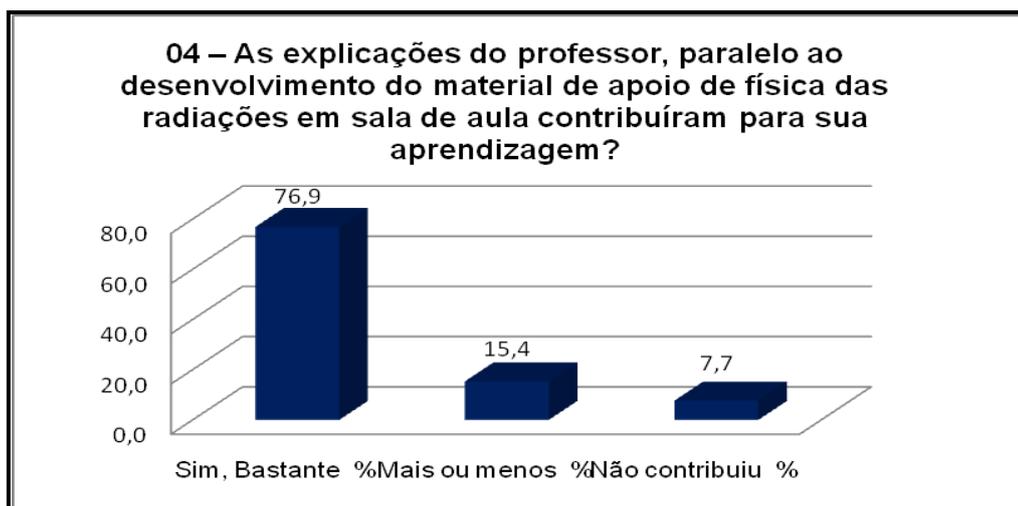


Gráfico 30 – Gráfico estatístico da aplicação da questão 04 para alunos.

No gráfico 31, podemos verificar que 84,6% dos alunos acredita que a possibilidade de consultar o material de apoio em casa no seu computador contribuiu bastante para sua aprendizagem, 7,7% acredita que contribuiu mais ou menos e 7,7% acredita que não contribuiu.

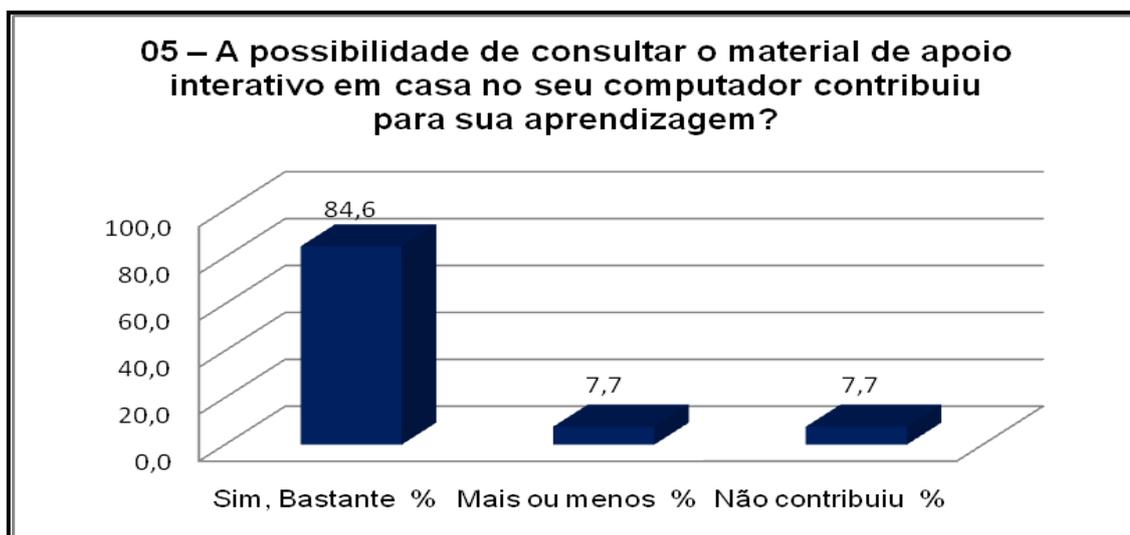


Gráfico 31 – Gráfico estatístico da aplicação da questão 05 para alunos.

No gráfico 32, podemos verificar que 48,1% dos alunos acredita que o tempo disponível para o desenvolvimento do curso de Física das Radiações foi adequado, 15,4% acredita foi longo e 36,5% acredita foi curto.

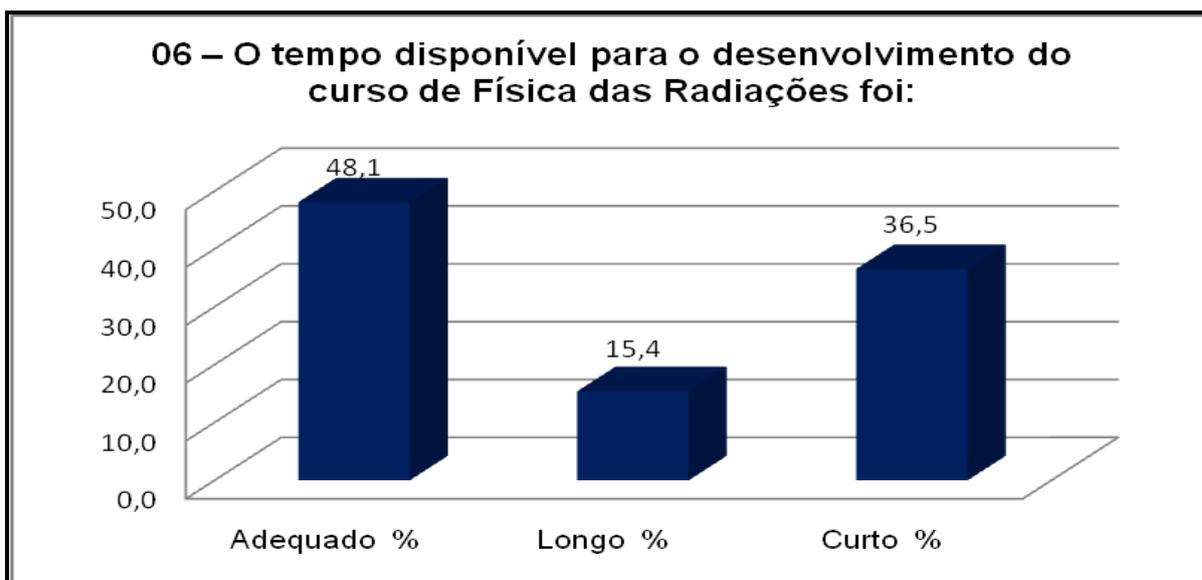


Gráfico 32 – Gráfico estatístico da aplicação da questão 06 para alunos.

No gráfico 33, podemos verificar que 78,8% dos alunos recomendaria o curso de Física das Radiações para que outros colegas o fizessem no futuro, 17,3% talvez indicaria e apenas 3,8% não indicaria.

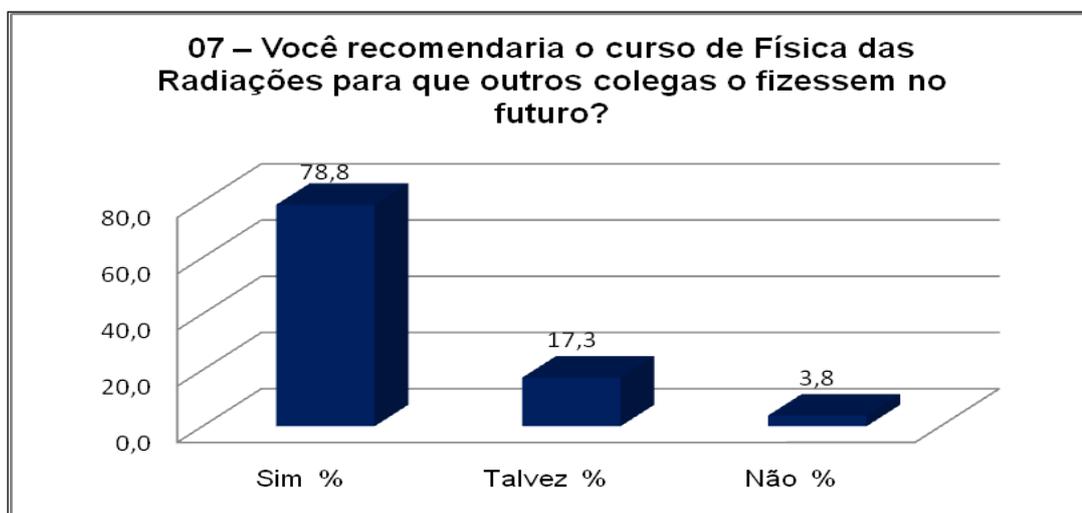


Gráfico 33 – Gráfico estatístico da aplicação da questão 06 para alunos.

Considerando os bons resultados obtidos pelos alunos nas avaliações realizadas durante os encontros somando aos excelentes resultados verificados nas avaliações do material de apoio e aplicação da proposta pelos alunos, podemos afirmar que o material de apoio proposto, bem como a aplicação do mesmo foi bem recebido pelos alunos. Os dados corroboram nossa opinião de que o desenvolvimento de assuntos de Física Contemporânea que estejam presente na vida cotidiana dos alunos contribui para a motivação dos mesmos em estudar o tema.

O único tópico a ser melhorado, segundo avaliação realizada pelos alunos, seria o tempo destinado para aplicação do curso.

## CONCLUSÃO

Os problemas verificados atualmente no Ensino de Física no Brasil estão associados, entre outras causas, à falta de material qualificado, bem como à falta de uma proposta para sua aplicação. Nesta dissertação buscamos desenvolver um material de apoio didático e paradidático para o ensino de Física das Radiações, bem como uma proposta didática para sua aplicação. Dentro deste contexto, o aspecto que mais nos preocupa e que está intimamente ligada à efetividade do aprendizado pelos alunos é sua motivação, que certamente leva o aluno a ter uma predisposição para aprender.

Sendo assim, acreditamos apropriada a introdução do estudo da Física das Radiações, tópico este presente na Física Contemporânea e que faz parte da vida cotidiana dos alunos, por se tratar de um assunto motivador ao estudo, possibilitando assim resgatar o espírito questionador dos estudantes e conseqüentemente nutrir o florescer do ensino exploratório.

Ao elaborar o Material de Apoio Didático e Paradidático sobre Física das Radiações tivemos sempre como meta principal o desenvolvimento de uma leitura que estimulasse os alunos a manterem seu interesse pelo assunto. Para isso, foram desenvolvidas algumas estratégias que consideramos fundamentais para estimular a curiosidade dos alunos para o assunto. Neste sentido, o material digital de consulta somado ao texto direcionado à realidade dos alunos desenvolvidos permitiu, como esperado, uma aproximação reflexiva maior dos alunos. Destacamos a preocupação de que o texto de apoio, gerado como produto educacional, pudesse contribuir significativamente para a formação de Técnicos de Radiologia.

Podemos dizer que, durante a implementação do curso, este objetivo foi alcançado e justificamos nossa afirmação pelo fato de que o público alvo não tinha

conhecimento dos assuntos abordados como pode ser verificado nos resultados mostrados no capítulo 5. Acreditamos que além de contribuir para formação desses alunos, os conteúdos foram desenvolvidos de forma acessível e dimensionados aos alunos do Ensino Médio além de ser adaptada a sua realidade cotidiana. Desta forma, fica a sugestão de aplicar e avaliar este material em turmas do Ensino Médio.

Quanto ao tema abordado, continuamos acreditando que os assuntos referentes à Física das Radiações são potencialmente significativos e motivadores para os estudantes. Durante os encontros, observamos seus interesses e motivações com o que estava sendo trabalhado. Eles reconheciam a importância do tema para suas atuações profissionais. Sistemáticamente participavam das aulas, comentando e confrontando os seus conhecimentos iniciais com os novos conceitos apresentados. Assim, existia a possibilidade de avaliar o que já sabiam e ancorar nesse conhecimento prévio os novos conceitos, o que consequentemente contribuiu para as alterações nos subsunçores existentes e efetivação do processo de assimilação proposta por Ausubel.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2000a.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Educação Profissional – Referenciais Curriculares Nacionais da Educação Profissional de Nível Técnico – Área Profissional Saúde**, 2000b. 216p.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2002.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio – volume 2**, 2006. 140p.

BONTRAGER, K. L. **Tratado de Técnica Radiográfica e Base Anatômica**. 5. ed. USA. Guanabara Koogan. 2007. 814 p.

BROWN, B. H.; SMALLWOOD, R. H.; BARBER, D. C. **Medical Physics and Biomedical Engineering**. 1. ed. USA. Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia. 1999. 736 p.

BUSHONG, S. C. **Manual de Radiología para Técnicos – Física, Biología y Protección Radiológica**. 6. ed. Madrid. Harcourt. 1999. 586 p. CARLTON, R. R.; ADLER, A. M. **Principles of Radiographic Imaging**. 3. ed. USA. Delmar. 2001. 741p.

CURRY, T. S.; DOWDEY, J. E.; MURRY, R. C. **Christensen's Physics of Diagnostic Radiology**. 4. ed. USA. Lea & Febiger. 1990. 522 p.

DIAS, N. L.; PINHEIRO, A. G.; BARROSO, G.C. Laboratório Virtual de Física Nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasil, v.24, n.2, p. 232-236. 2002.

PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE - PSSC. Física I. 2<sup>a</sup> edição. São Paulo: EDART – Livraria Editora Ltda, 1966. 230p.

GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J.C. Teoria da Relatividade Restrita e Geral no Programa de Mecânica do Ensino Médio: uma Possível Abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasil, v.29, n.4, p. 575-583. 2007.

HALL, E. J. **Radiobiology for the Radiologist**. 5. ed. USA. Lippincott Williams e Wilkins. 2000. 588 p.

JOHNS, S. E.; CUNNINGHAM, J. R. **The physics of Radiology**. 1. ed. USA. Thomas Books. 1983. 796 p.

JÚNIOR, A. A. R.. O que Radiação? E Contaminação Radioativa? Vamos Esclarecer? **Física na Escola**, Brasil, v.8, n.2, p. 40-43. 2007.

KARAM, R. A. S.; de SOUZA CRUZ, S. M. S. C.; COIMBRA, D. Relatividade no Ensino Médio: o Debate em Sala de Aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasil, v.29, n.1, p. 105-114. 2007.

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOUME, Y. A Contribuição da Física para um Novo Ensino Médio. **Física na Escola**, Brasil, v.4, n.2, p. 22-27. 2003.

MOREIRA, M. A. Partículas e Interações. **Física na Escola**, Brasil, v.8, n.2, p. 10-14. 2004.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R.S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasil, v.29, n.3, p. 447-454. 2007.

OSTERMANN, F. Um Texto para Professores de Ensino Médio sobre Partículas Elementares. **Revista Brasileira para o Ensino de Física**, Brasil, v.21, n.3, p. 415-436. 1999.

OSTERMANN, F; PRADO, S. D.; RICCI, T. S. F. Desenvolvimento de um Software para o Ensino de Fundamentos de Física Quântica. **Física na Escola**,

Brasil, v.7, n.1, p. 22-25. 2006.

OSTERMANN, F; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade. **Revista Brasileira para o Ensino de Física**, Brasil, v.20, n.3, p. 270-288. 1998.

PEDUZZI, L. O. Q.; BASSO, A. C. Para o Ensino do átomo de Bohr no Nível Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasil, v.27, n.4, p. 545-557. 2005.

PENA, F. L. A. Por que, nós Professores de Física do Ensino Médio, Devemos Inserir Tópicos e Idéias de Física Moderna e Contemporânea na Sala de Aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasil, v.28, n.1, p. 1-2. 2006.

WOLBARST, A. B. **Physics of Radiology**. 1. ed. USA. Prentice-Hall International, Inc.1993.461p.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ª Ed. Brasil. E.P.U, Inc. 2004.195p.

# ANEXOS

## **ANEXO 1**

**Revisão bibliográfica – Levantamento de dados**  
**Livros didáticos – Ensino Médio**

<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Editora</b>	<b>Raios X</b>
1	Física I – Mecânica dos Sólidos	Prof. R. Vicente Wercans e Prof. Maria Denise	2005	Reformulado	não
2	Física II – Mecânica dos Fluidos, termologia e oscilações	Prof. R. Vicente Wercans e Prof. Maria Denise	2005	Reformulado	não
3	Física III – Eletricidade, Magnetismo e Óptica	Prof. R. Vicente Wercans e Prof. Maria Denise	2005	Reformulado	não
4	Física História e Cotidiano	José Roberto Bonjorno	2006	FTD	não
5	Física – Ensino Médio Volume 1	Cristina Leite Alexandre Custódio Pinto José Alves Silva	2005	Brasil	não
6	Física – Ensino Médio Volume 2	Cristina Leite Alexandre Custódio Pinto José Alves Silva	2005	Brasil	não
7	Física – Ensino Médio Volume 3	Cristina Leite Alexandre Custódio Pinto José Alves Silva	2005	Brasil	não
8	Curso de Física	Beatriz	2005	Scipione	não

	Volume 1	Alvarenga Antônio Maximo			
9	Curso de Física Volume 2	Beatriz Alvarenga Antônio Maximo	2005	Scipione	não
10	Curso de Física Volume 3	Beatriz Alvarenga Antônio Maximo	2005	Scipione	não
11	Física para o Ensino Médio	Ivan Gonçalves dos Anjos	2005	IBEP. BRAS. ED. Pedagógicas LTDA	não
12	Coleção Física Clássica Cinemática Vol 1	Caio Sergio Calcada Jose Luiz Sampaio	2004	Atual	não
13	Coleção Física Clássica Dinâmica/Estática Vol 2	Caio Sergio Calcada Jose Luiz Sampaio	2004	Atual	não
14	Coleção Física Clássica Termodinâmica / Fluidos / Mecânica / Análise Dimensões Vol 3	Caio Sergio Calcada Jose Luiz Sampaio	2004	Atual	não
15	De Olho no Vestibular Física	Bonjorno / Regina / Clinton	2004	FTD	não
16	Física – Mecânica Vol 1	Alberto Gaspar	2004	Atica	não
17	Física – Termodinâmica / Óptica / Onda Vol 2	Alberto Gaspar	2004	Atica	não
18	Física –	Alberto Gaspar	2004	Atica	sim

	Eletromagnetismo e Física Moderna Vol 3				
19	Física – Volume 1	Fernando Cabral Alexandre Lago	2004	Harba	não
20	Física – Volume 2	Fernando Cabral Alexandre Lago	2004	Harba	não
21	Física – Volume 3	Fernando Cabral Alexandre Lago	2004	Harba	não
22	Física – Curso Completo	Ivan Gonçalves dos Anjos	2005	IBEP Nacional	não
23	Física Básica Volume Único – Ensino Médio	Nicolau Gilberto Ferraro Paulo Antônio de Toledo	2004	Atual	não
24	Física de Olho no Mundo do Trabalho – Ensino Médio	Beatriz Alvarenga Antônio Maximo	2004	Scipione	não
25	Física e Realidade Mecânica Volume 1	Gonçalves e Toledo	2005	Scipione	não
26	Física e Realidade Termodinâmica e Óptica Volume 2	Gonçalves e Toledo	2005	Scipione	não
27	Física e Realidade Eletricidade e Magnetismo Volume 3	Gonçalves e Toledo	2005	Scipione	não
28	Física Fundamental Volume Único	Bonjorno / Clinton	2005	FTD	não
29	Física História e Cotidiano Volume 1	José Roberto Bonjorno	2005	FTD	não

30	Física para o Ensino Médio (Parâmetros)	Aurélio Gonçalves Filho Carlos Toscano	2004	Atica	não
31	Física para o Ensino	Djalma Nunes Silva Parana	2005	Atica	não
32	Física um Projeto de Ensino	Geraldo Fungencio de Oliveira Filho	2006	FTD	não
33	Física Volume Único	Beatriz Alvarenga Antonio Maximo	2005	Scipione	não
34	Física Volume Único – Ensino Médio Atual	José Luiz Sampaio Caio Sergio Calcada	2005	Atual	não

## **ANEXO 2**

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**MPEF – Instituto de Física**  
Questionário A – Levantamento Preliminar de dados

Qual a sua idade?

Sexo: Masculino ( ) Feminino ( )

A – Você já ouviu falar em Física das Radiações? ( ) Sim ( ) Não

Se a resposta for sim onde você obteve esta(s) informação(s):

- ( ) Escola
- ( ) Revistas
- ( ) Revistas em Quadrinhos
- ( ) Jornais
- ( ) Internet
- ( ) Filmes e documentários
- ( ) Outros. Quais: \_\_\_\_\_

B – Você já ouviu falar em radiação ionizante? ( ) Sim ( ) Não

Se a resposta for sim onde você obteve esta(s) informação(s):

- ( ) Escola
- ( ) Revistas
- ( ) Revista em Quadrinhos
- ( ) Jornais
- ( ) Internet
- ( ) Filmes e documentários
- ( ) Outros. Quais: \_\_\_\_\_

C – Você já ouviu falar em Röntgen? ( ) Sim ( ) Não

Se a resposta for sim onde você obteve esta(s) informação(s):

- ( ) Escola
- ( ) Revistas
- ( ) Revista em Quadrinhos

- Jornais
- Internet
- Filmes e documentários
- Outros. Quais: \_\_\_\_\_

D – Você já ouviu falar em Radioatividade?  Sim  Não

Se a resposta for sim onde você obteve esta(s) informação(s):

- Escola
- Revistas
- Revista em Quadrinhos
- Jornais
- Internet
- Filmes e documentários
- Outros. Quais: \_\_\_\_\_

E – Você já ouviu falar em radiação gama ( $\gamma$ ) e radiação X?  Sim  Não

Se a resposta for sim onde você obteve esta(s) informação(s):

- Escola
- Revistas
- Revista em Quadrinhos
- Jornais
- Internet
- Filmes e documentários
- Outros. Quais: \_\_\_\_\_

F – Você já ouviu falar em efeitos biológicos das radiações?  Sim  Não

Se a resposta for sim onde você obteve esta(s) informação(s):

- Escola
- Revistas
- Revista em Quadrinhos
- Jornais
- Internet
- Filmes e documentários

Outros. Quais: \_\_\_\_\_

G – Você gostaria que a Física das Radiações fosse abordada no Ensino Médio?

Sim  Não

H – Você gostaria de possuir o material utilizado em suas aulas em um CD-ROM?

Sim  Não

## **ANEXO 3**

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**MPEF – Instituto de Física**  
Questionário B – Levantamento Preliminar de dados

**Assinale a alternativa correta**

01 – Após a realização de um procedimento de Raios X de tórax você descobre que possuía uma bala no bolso. O que você faz?

- (A) Come a bala**
- (B) Joga fora a bala
- (C) Come algum tempo depois
- (D) Não sabe o que fazer com a bala

02 – No interior do tubo de Raios X existe:

- (A) Césio 137
- (B) Cobalto 60
- (C) Iodo 131
- (D) Não existe substância radioativa em seu interior**

03 – A radiação eletromagnética possui como característica:

- (A) Possui massa, velocidade  $c$  constante no vácuo e necessita de meio para se propagar
- (B) Não possui massa, sua velocidade  $c$  varia no vácuo e não necessita de meio para se propagar
- (C) Não possui massa, sua velocidade  $c$  constante no vácuo e não necessita de meio para se propagar**
- (D) Possui massa, sua velocidade  $c$  varia no vácuo e necessita de meio para se propagar

04 – Quem descobriu os raios X:

- (A) Albert Einstein
- (B) Wilhelm Conrad Röntgen**
- (C) Max Planck
- (D) Nenhum dos apresentados acima

05 – Existe relação com a radioatividade:

- (A) Mamografia, radiação gama ( $\gamma$ ), Tomografia e radiação alfa ( $\alpha$ )
- (B) Raios X, Mamografia, radiação beta ( $\beta$ ) e densitometria
- (C) Medicina nuclear, energia nuclear, densitometria e Tomografia
- (D) Radiação gama ( $\gamma$ ), radiação beta ( $\beta$ ), medicina nuclear e energia nuclear**
- (E) Radiação alfa ( $\alpha$ ), raios X, ressonância magnética nuclear e hemodinâmica

06 – Quais são as ações listadas abaixo que estão relacionadas com a proteção radiológica durante o acompanhamento e auxílio de um Raios X de Tórax.

- (A) Ficar afastado do paciente, colocar os equipamentos de proteção individual e seguir as orientações do técnico em radiologia**
- (B) Ficar afastado do paciente, cuidar para não se contaminar com a radiação e seguir as orientações do técnico
- (C) Ficar próximo do paciente, colocar os equipamentos de proteção individual EPI, e cuidar para não encostar no equipamento de raios X
- (D) Ficar afastado do paciente, seguir as orientações do técnico em radiologia e cuidar para não se contaminar com a radiação

07 – Com o objetivo de contribuir com as ações de proteção radiológica todos os procedimentos de raios X devem ser:

- (A) Evitados e otimizados
- (B) Justificados e evitados
- (C) Justificados e otimizados**
- (D) Realizados só em hospitais e realizado por médicos

08 – Radiação corpuscular está associada a um:

- (A) Feixe de radiação eletromagnética
- (B) Feixe de ultravioleta
- (C) Feixe de radiação X
- (D) Feixe de partículas**

09 – Com relação aos efeitos biológicos das radiações é certo afirmar:

(A) A radiação pode provocar efeitos biológicos desconhecidos

**(B) A radiação não provoca nenhum efeito biológico desconhecido**

10 – A energia de radiação eletromagnética possui:

(A) Uma relação inversa com a frequência e direta com o comprimento de onda

(B) Uma relação direta com a frequência e direta com o comprimento de onda

**(C) Uma relação direta com a frequência e inversa com o comprimento de onda**

(D) Uma relação inversa com a frequência e inversa com o comprimento de onda

## **ANEXO 4**

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**MPEF – Instituto de Física**

Questionário Módulo I

**Assinale a alternativa correta**

01 – O que é massa?

- (A) Quantidade de matéria
- (B) Número de átomos
- (C) Unidade de medida da inércia**
- (D) Quantidade de elétrons

02 – O que é peso?

- (A) Massa de um objeto
- (B) Produto da massa pela gravidade**
- (C) Quantidade de matéria
- (D) Grandeza mensurada em kg

03 – Podemos definir energia como ....

- (A) Capacidade de realizar trabalho**
- (B) Eletricidade
- (C) Potencia utilizada
- (D) Tensão empregada

04 – A energia característica do corpo em movimento recebe o nome de?

- (A) Energia Potencial
- (B) Energia Mecânica
- (C) Energia Térmica
- (D) Energia cinética**

05 – Podemos definir energia elétrica como:

- (A) Energia caracterizada somente pelo movimento de elétrons
- (B) Energia caracterizada somente pelo movimento de átomos
- (C) Energia caracterizada somente pelo movimento de partículas neutras

**(D) Energia caracterizada somente pelo movimento de cargas**

06 – Nas alternativas abaixo qual está associada ao modelo atômico de Thomson:

- (A) ... Os elétrons estariam distribuídos no interior de uma esfera essencialmente positiva**
- (B) ... Massa do átomo está concentrada em uma região central de carga positiva
- (C) ... Um elétron se movimenta em uma órbita possível sem emitir radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total  $E$  permanece constante
- (D) Nenhuma das listadas acima

07 – Nas alternativas abaixo qual está associada ao modelo atômico de Rutherford:

- (A) ... Os elétrons estariam distribuídos no interior de uma esfera essencialmente positiva
- (B) ... Massa do átomo está concentrada em uma região central de carga positiva**
- (C) ... Um elétron se movimenta em uma órbita possível sem emitir radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total  $E$  permanece constante
- (D) Nenhuma das listadas acima

08 – Nas alternativas abaixo qual está associada ao modelo atômico de Bohr:

- (A) ... Os elétrons estariam distribuídos no interior de uma esfera essencialmente positiva
- (B) ... Massa do átomo está concentrada em uma região central de carga positiva
- (C) ... Um elétron se movimenta em uma órbita possível sem emitir radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total  $E$  permanece constante**
- (D) Nenhuma das listadas acima

09 – Podemos definir radiação como:

- (A) Radiação pode ser definida como uma forma de energia, emitida por uma fonte, que se propaga de um ponto a outro, somente, sob a forma de onda eletromagnética
- (B) Radiação pode ser definida como uma forma de energia, emitida por uma fonte, que se propaga de um ponto a outro, somente, sob a forma de partículas
- (C) Radiação pode ser definida como uma forma de energia, emitida por uma fonte, que se propaga de um ponto a outro sob a forma de onda eletromagnética, ou ainda, sob a forma de partículas**
- (D) Radiação esta associada somente ao decaimento de substâncias radioativas

10– A energia da radiação eletromagnética possui:

- (A) Uma relação direta com a constante de Planck e direta com a frequência**
- (B) Uma relação direta com a constante de Planck e inversa com a frequência
- (C) Uma relação inversa com a constante de Planck e direta com a frequência
- (D) Uma relação inversa com a constante de Planck e inversa com a frequência

11 – O que é radiação corpuscular?

- (A) Feixe de fótons de raios X
- (B) Feixe de ondas eletromagnéticas
- (C) Feixe de partículas elementares ou núcleos atômicos**
- (D) Feixe de ondas eletromagnéticas ou ondas de radio

12 – O que é a partícula alfa  $\alpha$ ?

- (A) A partícula alfa é o núcleo do átomo de hélio o qual é constituído de um próton e um nêutron
- (B) A partícula alfa é o núcleo do átomo de hélio o qual é constituído de dois prótons e dois nêutrons**
- (C) A partícula alfa é o núcleo de oxigênio

(D) A partícula alfa é constituída por quatro elétrons

13 – Para ocorrer o efeito fotoelétrico ...

(A) ... a energia do fóton incidente não deve exceder a energia de ligação do núcleo

(B) ... a energia do fóton incidente deve exceder a energia de ligação do núcleo

(C) ... a energia do fóton incidente não deve exceder a energia de ligação do elétron

**(D) ... a energia do fóton incidente deve exceder a energia de ligação do elétron**

14 – Complete as lacunas.

“No espalhamento Compton ..... energia do fóton é ..... a um elétron e a outra parte fica com um fóton de mais baixa energia, que por sua vez, é .....

**(A) toda, cedida e refletida**

(B) uma parte, cedida e absorvido

(C) toda, refletida e absorvida

(D) uma parte, refletida, refletida

15 – Complete as lacunas.

“Produção de par se caracteriza pela interação entre ..... e ..... fazendo com que o fóton desapareça e apareçam em seu lugar dois .....; um com carga positiva chamada pósitron e outro com carga negativa”

**(A) fóton, eletrosfera do átomo e elétrons**

(B) elétrons, campo eletrostático nuclear e fótons

(C) elétrons, eletrosfera do átomo e fótons

(D) fóton, campo eletrostático nuclear e elétrons

## **ANEXO 5**

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**MPEF – Instituto de Física**

Questionário Módulo II

**Assinale a alternativa correta**

01– Qual foi o cientista responsável por esta revolução científica e tecnológica centrada na descoberta dos Raios X?

- (A) Arthur G. Haus;
- (B) Wilhelm Conrad Röntgen;**
- (C) Thomas Curry;
- (D) José Pedro da Silva Júnior.

02 – Complete a frase abaixo.

Em 8 de novembro de 1895 durante estudos em ..... os ..... foram descobertos. A descoberta dos Raios X mudou completamente a história da ..... existente até o momento.

- (A) Tubo de Crookes, Raios X e medicina diagnóstica;**
- (B) Tubo de Raios X, prótons e engenharia;
- (C) Tubo de Crookes, prótons e medicina diagnóstica;
- (D) Tubo de Raios X, Raios X e engenharia.

03 – Em sua descoberta como os Raios X foram detectados?

- (A) Utilizando uma câmara de ionização;
- (B) Utilizando um contador Geiger;
- (C) Utilizando um barômetro;
- (D) Visualmente por meio da fluorescência.**

04 – Qual foi a cientista que vislumbrou a possibilidade de utilização dos Raios X na medicina?

- (A) Arthur G. Haus;
- (B) Thomas Curry;
- (C) Wilhelm Conrad Röntgen;**
- (D) Thomas A. Edison.

05 – Complete a frase abaixo:

Percebeu que a ..... da fluorescência ..... à medida que ele ..... a placa descrita placa fluorescente do tubo.

- (A) Intensidade, aumentava, aproximava;**
- (B) Energia, diminuía, aproximava;
- (C) Energia, diminuía, sem afastar;
- (D) Intensidade, aumentava, afastando.

06 – Os muitos tipos diferentes de aparelhos de Raios X podem ser identificados de acordo com a energia dos Raios X que são produzidos ou segundo a finalidade a que eles se destinam. Mas todo equipamento de Raios X, independentemente de seu projeto, possui três componentes principais. Quais são estes componentes?

- (A) Cúpula de Césio – 137, mesa de comando e gerador de alta tensão;
- (B) Tubo de Raios X, mesa de comando e placa de identificação do fabricante;
- (C) Tubo de Raios X, mesa de comando e gerador de alta tensão;**
- (D) Cúpula de Cobalto - 60, mesa de comando e gerador de alta tensão.

07 – O tubo de Raios X é envolvido por um cabeçote protetor formado basicamente de chumbo, servindo para atenuar a radiação de fuga. Os 4 componentes principais do tubo de Raios X são:

- (A) Envoltório de vidro (tipo Pyrex), cabeçote protetor, Bateria e substância radioativa;
- (B) Envoltório de vidro (tipo Pyrex), substância radioativa, cátodo e ânodo;
- (C) Bateria, cabeçote protetor, substância radioativa e ânodo;
- (D) Envoltório de vidro (tipo Pyrex), cabeçote protetor, cátodo e ânodo.**

08 – Complete a frase abaixo:

O ....., que constitui o pólo negativo do Tubo de Raios X, é formado por um filamento de tungstênio, em formato de espira, medindo aproximadamente 2 mm de diâmetro por 1 a 2 cm de comprimento.

- (A) Ânodo;
- (B) Cátodo;**
- (C) Filtro;
- (D) Gerador.

09 – No momento em que os ..... acelerados se chocam com o ..... é verificado a produção dos Raios X. A.....do elétron se transforma em energia eletromagnética

- (A) Próton, cátodo e energia cinética;
- (B) Próton, cátodo e energia mecânica;
- (C) Elétrons, alvo e energia cinética;**
- (D) Elétrons, alvo e energia mecânica.

10 – Qual das alternativas abaixo não é uma característica dos Raios X:

- (A) Origem radioativa;**
- (B) Transformam gases em condutores elétricos;
- (C) São radiações do tipo eletromagnéticas, pois não sofrem desvios em campos elétricos e magnéticos;
- (D) Enegrecem películas fotográficas.

11 – Cerca de 99% da energia cinética dos elétrons incidentes é transformada em energia térmica e cerca de 1 % produz radiação X. Os dois mecanismos de produção de Raios X, dependendo do tipo de interação entre os elétrons e o alvo, são:

- (A) Radiação de Frenamento “bremsstrahlung” e radiação de tubo;
- (B) Radiação de tubo e radiação cósmica;
- (C) Radiação cósmica e radiação característica;
- (D) Radiação característica e radiação de Frenamento “bremsstrahlung”.**

12 – A produção dos Raios X Característicos está relacionada:

- (A) Com o processo de interação de um elétron incidente e o núcleo do átomo;
- (B) Com o processo de interação de um elétron incidente e o núcleo de um átomo radioativo;
- (C) Com o processo de interação de um elétron incidente e a eletrosfera;**
- (D) Com o processo de interação de um elétron incidente e o cátodo.

13 – A produção dos Raios X de Frenamento está relacionada:

- (A) Com o processo de interação de um elétron incidente e o núcleo do átomo;**
- (B) Com o processo de interação de um elétron incidente e o núcleo de um átomo radioativo;
- (C) Com o processo de interação de um elétron incidente e a eletrosfera;
- (D) Com o processo de interação de um elétron incidente e o cátodo.

14 – Dos parâmetros técnicos listados abaixo, qual deles não influencia no tamanho e posição relativa dos espectros de emissão de Raios X.

- (A) Corrente (mA);
- (B) Tempo (s);**
- (C) Tensão (kV);
- (D) Material do alvo.

15 – Complete as lacunas.

Adicionando o filtro os fótons de Raios X de energia mais ..... são ..... de maneira mais eficiente, de forma que o espectro de emissão se distribui mais à esquerda que a direita. Sendo assim, podemos constatar um ..... na energia efetiva do feixe de Raios X, ou seja, ..... poder de penetração e com a conseqüente redução da intensidade do feixe.

- (A) alta, absorvidas, aumento e maior;
- (B) baixa, absorvidos, aumento e maior;**
- (C) alta, transmitidas, decréscimo e menor;
- (D) baixa, transmitida, decréscimo e menor.

## **ANEXO 6**

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**MPEF – Instituto de Física**

Questionário Módulo III

**Assinale a alternativa correta**

01– Quais são as três radiações que podem ser emitidas por uma substância Radioativa?

- (A) Raios (X), Beta ( $\beta$ ) Gama ( $\gamma$ );
- (B) Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ) e Gama ( $\gamma$ );**
- (C) Alfa ( $\alpha$ ), Raios (X), e Gama ( $\gamma$ );
- (D) Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ) e Raios (X).

02 – Como podemos definir um anti-elétron?

- (A) Uma partícula semelhante ao elétron, exceto quanto a sua carga, que é neutra;
- (B) Uma partícula semelhante ao elétron, exceto quanto a sua carga, que é negativa;
- (C) Uma partícula semelhante ao elétron, exceto quanto a sua carga, que é positiva;**
- (D) Uma partícula igual ao elétron.

03 – Como podemos definir uma partícula Alfa ( $\alpha$ )?

- (A) Núcleo de Oxigênio;
- (B) Núcleo de Hélio;**
- (C) Núcleo de Ouro;
- (D) Núcleo de Prata.

04 – Como podemos definir meia-vida do elemento radioativo?

- (A) Tempo que este elemento leva para ter sua densidade reduzida à metade da densidade inicial;
- (B) Tempo que este elemento leva para ter sua massa reduzida à metade da massa inicial;
- (C) Tempo que este elemento leva para ter seu volume reduzido à metade do volume inicial;
- (D) Tempo que este elemento leva para ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial.**

05 – Quais são as três principais características da radiação gama ( $\gamma$ ):

- (A) Radiação eletromagnética, sem carga e sem massa;**
- (B) Radiação corpuscular, sem carga e sem massa;
- (C) Radiação corpuscular, com carga e com massa;
- (D) Radiação eletromagnética, com carga e com massa;

06 – Quais são os 4 Princípios Fundamentais de Proteção Radiológica (segundo nossa legislação atual)?

- (A) Chumbo, Biombo, treinamento e EPI;
- (B) Chumbo, Equipamentos de Proteção, Limitação de Dose e Biombos;
- (C) Justificação, Otimização, Limitação de Dose e Prevenção de Acidente;**
- (D) Justificação, Otimização, Equipamento de Proteção e Prevenção de Acidente.

07 – A unidade de exposição é o Röentgen com o símbolo (R) cuja definição no Sistema Internacional é:

- (A) Coulomb por Newton (C/N);
- (B) Newton por Coulomb (N/C);
- (C) Quilograma por Coulomb (kg/C);
- (D) Coulomb por Quilograma (C/kg).**

08 – A dose absorvida é definida como a ..... média cedida pela radiação ionizante à ..... por unidade de .....

- (A) **Energia, matéria, massa;**
- (B) Massa, matéria, energia;
- (C) Temperatura, massa, matéria;
- (D) Energia, substância, temperatura.

09 – Qual grandeza radiométrica é apropriada para avaliação do dano biológico decorrente de exposição humana à radiação ionizante

- (A) Exposição;
- (B) **Dose Efetiva;**
- (C) Dose Equivalente;
- (D) Dose Absorvida.

10 – Qual grandeza radiométrica é definida somente para Raios X e gama em interações com uma certa massa de ar:

- (A) **Exposição;**
- (B) Dose Efetiva;
- (C) Dose Equivalente;
- (D) Dose Absorvida.

11 – Se o dano celular ocorre e não é adequadamente reparado, a célula pode permanecer viva, no entanto é modificada; este é o efeito denominado:

- (A) Exposição;
- (B) **Estocástico;**
- (C) Determinístico;
- (D) Hereditário.

12 – Se a célula danificada é impedida de viver ou reproduzir-se, isto pode originar um tipo de efeito biológico chamado:

- (A) Exposição;
- (B) Estocástico;
- (C) Determinístico;**
- (D) Hereditário.

13 – As variações nas estruturas moleculares dos genes, as variações no número ou da estrutura dos cromossomos são denominados:

- (A) Mutações;**
- (B) Doses;
- (C) Contaminações;
- (D) Eritemas.

14 – As reações causadas pelas radiações ionizantes podem ser descritas em quantos estágios:

- (A) Um (01);
- (B) Dois (02);
- (C) Três (03);
- (D) Quatro (04).**

15 – Qual dos tecidos apresentados abaixo é mais sensível à exposição à Radiação Ionizante.

- (A) Tecido nervoso;
- (B) Tecido sanguíneo;**
- (C) Tecido ósseo;
- (D) Tecido Muscular.

## **ANEXO 7**

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**MPEF – Instituto de Física**

Avaliação Proposta

**Caros alunos, solicito que avaliem o material de apoio didático para o ensino de Física das Radiações no Ensino Médio e Técnico como a metodologia utilizada para sua aplicação.**

01 – Você gostou do curso de Física das Radiações?

- (A) Sim, bastante;
- (B) Mais ou menos;
- (C) Não gostei.

02 – Você gostou do CD-ROM para consulta dos assuntos abordados no curso de Física das Radiações?

- (A) Sim, bastante;
- (B) Mais ou menos;
- (C) Não gostei.

03 – Você gostou do texto sobre Física das Radiações apresentado no material de apoio?

- (A) Sim, bastante;
- (B) Mais ou menos;
- (C) Não gostei.

04 – As explicações do professor, paralelo ao desenvolvimento do material de apoio de Física das Radiações em sala de aula contribuíram para sua aprendizagem?

- (A) Sim, bastante;
- (B) Mais ou menos;
- (C) Não contribuiu.

05 – A possibilidade de consultar o material de apoio em casa no seu computador contribuiu para sua aprendizagem?

- (A) Sim, bastante;
- (B) Mais ou menos;
- (C) Não contribuiu.

06 – O tempo disponível para o desenvolvimento do curso de Física das Radiações foi:

- (A) Adequado;
- (B) Longo;
- (C) Curto.

07 – Você recomendaria o curso de Física das Radiações para que outros colegas o fizessem no futuro?

- (A) Sim;
- (B) Talvez;
- (C) Não.

## **ANEXO 8**

**Texto de Apoio**

## **Introdução à Física das Radiações**

Rogério Fachel de Medeiros

**INSTITUTO DE FÍSICA – UFRGS**

2011

## Apresentação para o Professor

Constantemente nos deparamos com a carência de material didático qualificado sobre o ensino de Física Contemporânea. Professores estimulados pela possibilidade de motivar seus alunos para a elaboração de estudos, focados em fenômenos presentes no cotidiano, se deparam com a falta de material e/ou a baixa qualidade conceitual dos materiais disponíveis.

A Física das Radiações compõe o elenco dos conteúdos da Física Contemporânea e seus conceitos estão presentes no cotidiano dos alunos; quando submetidos a procedimentos de radiodiagnóstico, estes fazem uso da Radiação Ionizante do Tipo X e gama ( $\gamma$ ) (Raios X e Raios  $\gamma$ ) e/ou Terapêuticos que também fazem uso da Radiação Ionizante do Tipo X, gama ( $\gamma$ ) e beta ( $\beta$ ). O estudo da Física das Radiações também se justifica em função da verificação de uma grande quantidade de mitos e medos relacionados com o assunto, os quais foram criados e alimentados por bibliografias desqualificadas, cinema, histórias em quadrinhos e a mídia em geral.

Este texto de apoio tem como objetivo suprir esta carência no ensino de Física das Radiações. Neste documento apresentamos um material de apoio focado em Física das Radiações, o qual foi dividido em três Módulos. O primeiro, intitulado Módulo 1 – Fundamentos de Física das Radiações, foi elaborado com o objetivo de estudar aspectos fundamentais de Física das Radiações, onde o assunto é subdividido em cinco tópicos: Matéria e Energia, Átomo, Radiação Eletromagnética, Radiação Corpuscular e Interação da Radiação com a Matéria.

O segundo, intitulado Módulo 2 – Fundamentos de Raios X, foi preparado com o objetivo de estudar os aspectos fundamentais da Radiação X, onde o assunto é também subdividido em cinco tópicos: Breve Histórico dos Raios X, Tubo de Raios X, Características dos Raios X, Produção de Raios X e Emissão de Raios X.

O Módulo 3, intitulado Radioatividade e Segurança Radiológica, foi construído com o objetivo de estudar fundamentos de Radioatividade e Segurança Radiológica, no qual os conteúdos foram subdivididos em três tópicos: Radioatividade, Proteção Radiológica e Efeitos Biológicos das Radiações

Ionizantes.

Os autores deste trabalho esperam que este material seja útil ao trabalho do professor de Física do Ensino Médio e da formação profissional de técnicos e tecnólogos em radiologia. Foi com esta finalidade que o mesmo foi elaborado.

# Sumário

<b>Apresentação para o Professor</b> .....	<b>2</b>
<b>Modulo 01: Fundamentos de Física das Radiações</b> .....	<b>5</b>
<u>A – Matéria e Energia</u> .....	5
<u>B – Átomo</u> .....	7
<u>C – Radiação Eletromagnética</u> .....	11
<u>D – Radiação Corpuscular</u> .....	15
<u>E – Interação da Radiação com a Matéria</u> .....	16
<b>Módulo 02: Fundamento de Raios X</b> .....	<b>20</b>
<u>F – Breve Histórico dos Raios X</u> .....	20
<u>G – Tubo de Raios X</u> .....	21
<u>H – Características dos Raios X</u> .....	22
<u>I – Produção dos Raios X</u> .....	24
<u>J – Emissão dos Raios X</u> .....	27
<b>Módulo 03: Radioatividade e Segurança Radiológica</b> .....	<b>35</b>
<u>L – Radioatividade</u> .....	35
<u>M – Proteção Radiológica</u> .....	36
<u>N – Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes</u> .....	49
<b>Conclusão</b> .....	<b>54</b>
<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>55</b>

# MÓDULO 1

## Fundamentos de Física das Radiações

### A - MATÉRIA E ENERGIA

Uma das discussões mais básicas na Física está centrada na busca da definição de Matéria. Matéria pode ser definida, por exemplo, como todo aquilo que ocupa lugar no espaço, ou, substância dotada de forma e dimensões que constituem os objetos físicos. Quando analisamos a matéria de uma maneira mais profunda verificamos que ela é constituída por elementos básicos, denominados átomos, os quais se combinam para formar estruturas complexas. Uma das propriedades físicas que caracteriza a matéria é sua massa, a qual pode ser definida como sendo a unidade de medida da inércia [6].

Quando a massa de um objeto é exposta a um campo gravitacional podemos detectar e mensurar a força peso. Peso é a força exercida por um objeto físico considerando apenas a ação da gravidade. A massa de um corpo (em baixas velocidades) não varia, o que pode apresentar variações (considerando alguma variação na gravidade) é o peso do corpo. No domínio não relativístico a massa também permanece constante quando verificamos uma mudança de estado sólido para o estado líquido. Esta invariância é verificada porque a substância, ou elemento, que compõe o referido corpo será o mesmo independente do estado físico

O Universo como conhecemos hoje é constituído de combinações de 105 elementos. No entanto, não mais que 12 elementos constituem 95% da Terra como um todo e sua atmosfera e somente quatro (hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio) constituem 95% da massa do corpo humano [3].

Uma dada substância incapaz de se separar por processos químicos recebe o nome de elemento. Um composto químico é formado por uma, ou várias, combinações de diferentes elementos, toda matéria é constituída de um número enorme de partículas com dimensões extremamente pequenas. Durante um grande intervalo de tempo a comunidade científica acreditou que os átomos

fossem as menores partículas existentes e que fossem indivisíveis. Hoje se sabe que os átomos são também constituídos de partículas menores e mais simples, embora a sua separação seja mais difícil. Um átomo, de uma maneira simplificada, pode ser representado como um sistema solar<sup>3</sup> em miniatura. No centro deste sistema solar está o núcleo que possui carga elétrica positiva e é circundado por partículas muito leves e carregadas negativamente, as quais são chamadas de elétrons.

Analisando o que foi comentado até agora, poderia parecer que toda matéria é constituída de massa e eletricidade. Entretanto existe um terceiro fator de importância, a energia, um conceito abrangente de grande importância para o entendimento da matéria e de sua estrutura.

Quando estudamos energia normalmente utilizamos como exemplo a energia solar. O Sol é responsável pelas principais formas de energia disponíveis na Terra, com exceção da nuclear. Sabemos que a energia emitida pelo Sol é o resultado de múltiplas reações nucleares que ocorrem no seu interior, como consequência da fusão de dois tipos de átomos de hidrogênio o deutério e o trítio que em combinação formam o hélio e um nêutron.

Mas para o estudo da energia necessitamos de uma definição mais geral para esta grandeza física. Podemos defini-la como a capacidade de realizar trabalho, ou o que está sendo “gasto” quando trabalho é realizado. Aqui cabe ressaltar que a palavra “gasto” deve ser compreendida como sendo um processo de transformação de energia de um determinado tipo em outra forma de energia. Como por exemplo: A energia cinética do elétron está sendo consumida, “gasta”, no momento da interação com a matéria, para a produção de energia térmica e energia de radiação (Raios X). Cabe ressaltar que nestes processos de transformação de energia o princípio de conservação de energia é respeitado.<sup>4</sup>

Na linguagem cotidiana o termo energia pode assumir diferentes significados principalmente relacionados às percepções dos indivíduos sobre os fenômenos naturais e suas crenças sócio-culturais. Assim, o termo energia pode

---

<sup>3</sup> Ressaltamos que está analogia é apenas uma representação metafórica do átomo. Esta analogia não é a mais eficiente, mas como o objetivo aqui é iniciar uma discussão a respeito da estrutura da matéria optamos por sua utilização.

<sup>4</sup> O termo “gasto” é utilizado com uma conotação de consumo. “Consumimos uma determinada energia no processo de produção de outra forma de energia”.

ser usado para se referir a suas manifestações sob formas de cores (radiação), som (ondas), movimento, posição, calor, reações químicas, nucleares, etc.

Aqui cabe ressaltar que devemos utilizar o termo calor só quando quisermos descrever energia em trânsito (transferência de energia de um corpo a outro, em virtude de uma diferença de temperatura). Esta transferência de calor acarreta um aumento da energia interna do corpo, ou seja, um aumento na agitação de seus átomos e moléculas produzindo como resultado um aumento em sua temperatura. Sendo assim, podemos afirmar que o calor não é propriedade do corpo, na realidade, o que o corpo possui é energia interna a qual tem uma relação direta com a temperatura – “quanto maior for a sua temperatura mais elevada será sua energia interna”[14]

## **B – ÁTOMO**

Os questionamentos relacionados com o desenvolvimento do conceito de átomo fazem parte da história da ciência, considerando o desenvolvimento do pensamento científico ocidental. A curiosidade com relação à estrutura da matéria se deu início em 640-562 antes de Cristo (a.C) pelo filósofo Grego Tales de Mileto [9].)

A ideia de átomo está associada na sua origem com os filósofos gregos Leucipo, e seu aluno Demócrito, 585 a.C. O significado da palavra átomo na língua grega é “indivisível”, logo o átomo é o limite da divisibilidade da matéria. Demócrito criou três postulados a respeito dos átomos, estes seriam [9]:

- 1) muito pequenos para serem observados;
- 2) em movimento contínuo no vazio;
- 3) impossíveis de serem subdivididos.

A ideia de átomo, criada por Leucipo e desenvolvida por Demócrito, atravessou séculos e somente em 1738 foi alterada por Bernouilli. Seu renascimento e modificação profunda foi proposta por Dalton, em 1808. A evolução da teoria atômica, a partir de Dalton ocorreu em pouco mais de cem anos, particularmente entre 1860 e 1940 [1].

Vários modelos foram adotados na tentativa de explicar o átomo e suas

características, entre estes modelos destaca-se o modelo de Thomson (1897), no qual o cientista propôs que os elétrons estariam distribuídos no interior de uma esfera essencialmente positiva, com um raio de  $10^{-10}$  m. Devido à repulsão, os elétrons estariam distribuídos de forma simétrica na esfera de carga positiva conforme apresentado na Figura 01 [9].

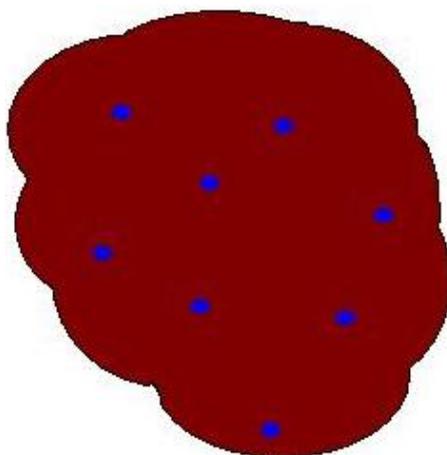


Figura 01: Modelo atômico de Thomson.

Rutherford, em 1911, juntamente com Geiger e Marsden, através de seus experimentos, bombardeando lâminas de ouro com partículas alfa, verificou que a maioria das partículas atravessava a lâmina como se essa não existisse e que umas poucas partículas sofriam grandes desvios, sendo que algumas praticamente invertiam sua trajetória. Esse comportamento não poderia ser explicado pelo modelo atômico proposto por Thomson; então, para justificar os dados experimentais, Rutherford, pela primeira vez propôs um modelo nuclear do átomo. Neste modelo toda a massa do átomo está concentrada em uma região central de carga positiva, a qual chamou de núcleo. Em torno desse núcleo (com um trilhonésimo do volume do átomo) estariam girando os elétrons, a uma distância de  $10^{-10}$  m, o que explicaria as evidências do experimento anteriormente citado conforme Figura 02 a seguir [4].

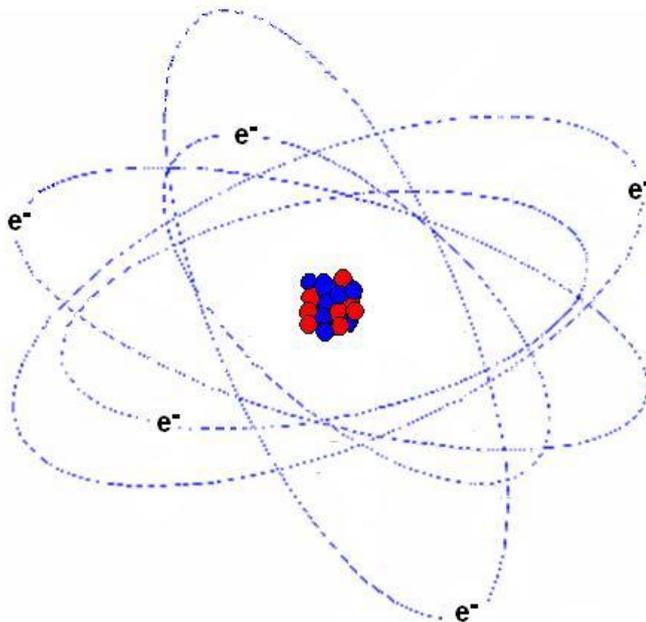


Figura 02: Modelo atômico de Rutherford.

O modelo atômico de Rutherford apresentava um grande problema ao propor que os elétrons se mantinham em suas órbitas equilibrando a atração eletrostática e força centrífuga. As leis de Maxwell definem que cargas em movimento acelerado emitem energia sob a forma de radiação eletromagnética. A emissão desta energia diminuiria a energia do próprio elétron, e este fatalmente acabaria caindo sobre o núcleo. Sendo assim, o átomo de Rutherford seria estável durante um curtíssimo intervalo de tempo.

Niels Bohr, usando como referência e ponto de partida o átomo de Rutherford, a teoria quântica de Planck (1900), Einstein (1905) e os conceitos sobre a emissão de radiação eletromagnética, conseguiu resolver os problemas do modelo de Rutherford. Em 1913, quando Bohr publica seus postulados a respeito do átomo, a nova teoria atômica propunha que os átomos eram divisíveis; átomos de um mesmo elemento poderiam ser diferentes e foram chamados de isótopos; átomos de elementos diferentes poderiam ter pesos muito próximos e foram denominados de isóbaros; e, as reações químicas seriam meramente rearranjos de moléculas. Seus postulados propõem que [1]:

- 1) O elétron em um átomo se move em órbitas circulares ao redor do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo,

obedecendo às leis da Mecânica Clássica.

- 2) Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis, segundo a Mecânica Clássica, um elétron só pode se mover em uma órbita na qual o seu momento angular orbital é um múltiplo inteiro de  $h/2\pi$ .
- 3) Mesmo constantemente acelerado, um elétron se movimentando em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total  $E$  permanece constante.
- 4) É verificada a emissão de radiação eletromagnética quando um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total  $ET$ , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma outra órbita de energia total  $ET'$ .

Bohr não fez nenhuma cerimônia em misturar idéias clássicas a idéias não-clássicas. Mesmo considerando que a ciência atual conhece as limitações do modelo de Bohr, esse ainda é bastante utilizado, pois seu formalismo matemático é muito simples de fácil compreensão.

Os postulados de Bohr prevêm um tamanho razoável para o átomo de hidrogênio ( ${}_1\text{H}^1$ ), valor que é corroborado com as afirmações anteriores que calcularam o átomo com um diâmetro de  $1,0 \text{ \AA}$  ( $10^{-10}\text{m}$ ). Estimando a velocidade orbital de elétron na menor órbita de um átomo de hidrogênio a partir de  $v = (n \cdot h/2\pi)/mr = 1/4\pi\epsilon_0 \cdot Ze^2/(n \cdot h/2\pi)$ , obtemos  $v \cong 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ . Como  $v$  apresentava ser menor que 1% da velocidade da luz justifica-se a utilização da Mecânica Clássica em vez da Mecânica Relativística.

O estado normal do átomo será o estado no qual o elétron possui, a menor energia, isto é, o estado  $n=1$ . Este estado é chamado estado fundamental.

Em uma descarga elétrica, por exemplo, o átomo recebe energia proveniente de colisões, etc. Sendo assim, o elétron deve sofrer uma transição para o estado de maior energia, ou estado excitado, no qual  $n > 1$ . O átomo emitirá o excesso de energia para voltar ao seu estado de menor energia – estado fundamental.

## C - RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS

Radiação pode ser definida como uma forma de energia, emitida por uma fonte, que se propaga de um ponto a outro sob a forma de onda eletromagnética, ou ainda, sob a forma de partículas, com ou sem carga elétrica. Toda radiação eletromagnética transporta energia através do espaço com uma combinação de campos elétricos e magnéticos. Quando são atenuadas (absorvidas), o objeto atenuador esquenta. Isto significa que a radiação eletromagnética só pode ser produzida em um processo que exista o fornecimento de energia. Radiações eletromagnéticas surgem em processos de aceleração de cargas [7].

Quando a radiação possui energia suficiente para arrancar um dos elétrons orbitais de átomos neutros, diz-se que ela é ionizante. A ionização é, portanto, o fenômeno de ejeção de um elétron de um átomo o qual é apresentado de maneira simplificada na Figura 03.

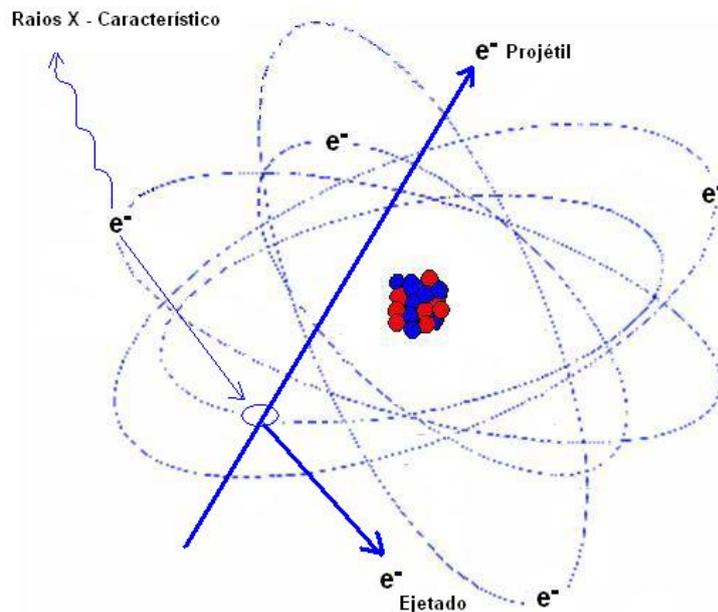


Figura 03: Fenômeno de ionização

O termo radiação ionizante, ou simplesmente radiação, é usado para designar tanto um feixe de partícula com ou sem carga elétrica, como também um feixe de ondas eletromagnéticas.

A radiação eletromagnética pode ser descrita e/ou apresentada como sendo um feixe de fótons (pacotes de energia). A radiação eletromagnética está presente em tudo e existe em um grande intervalo de frequência de aproximadamente  $10$  a  $10^{24}$  Hz, com um comprimento de onda associado de  $10^7$  a  $10^{-16}$  m, onde o feixe de Raios X e a luz visível são exemplos de radiação eletromagnética, os quais podem ser representados com sendo um feixe de fótons. Nesta grande faixa de valores de frequência e comprimento de onda existe um grande número de tipos de radiações eletromagnéticas diferentes conforme apresentado na Figura 04. O conjunto destas radiações constitui o contínuo eletromagnético o qual é mais conhecido como o espectro eletromagnético [7].

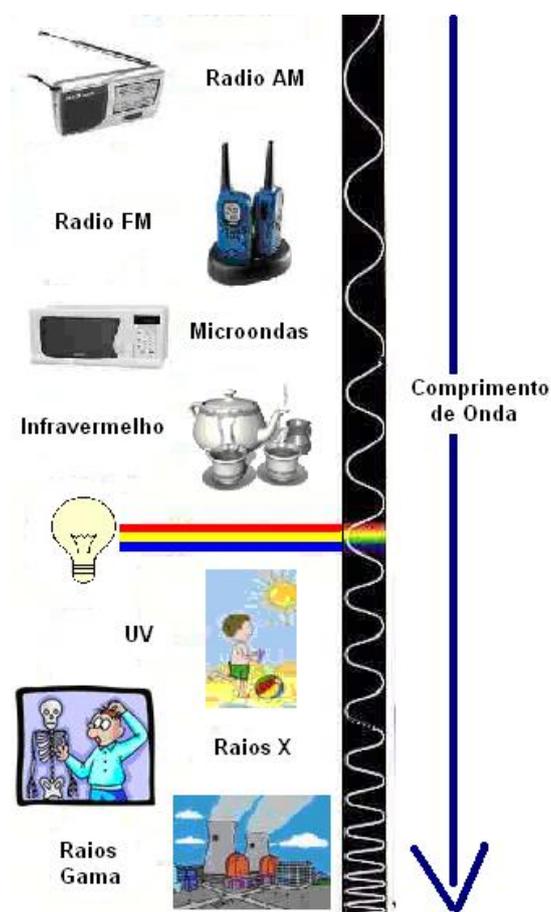


Figura 04: Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é a união de um conjunto de radiações, que inicia com as ondas de rádio e terminam com os raios gama. Os nomes atribuídos

a determinadas faixas do espectro estão relacionados e classificados com sua fonte emissora (Quadro 1). A grandeza física comum entre as radiações eletromagnéticas é sua velocidade de propagação (a velocidade, a da luz, é a mesma em todo o espectro); a diferença verificada entre as regiões determinadas do espectro são produzidas pelas grandezas físicas: frequência e o comprimento de onda.

Quadro 1 - Radiação Eletromagnética X Fontes Emissoras

<b>Radiação Eletromagnética</b>	<b>Fonte Emissora</b>
Ondas de Rádio	Elétrons que se movimentam em condutores
Microondas	Elétrons que se movimentam em condutores (moléculas dipolares)
Radiação Infravermelha	Objetos aquecidos
Luz Visível	Objetos muito aquecidos
Radiação Ultravioleta	Arcos e descarga em gases
Raios X	Elétrons que se chocam com um alvo
Raios $\gamma$	Núcleos de átomos radioativos

A velocidade **c** de propagação das ondas eletromagnéticas é constante no vácuo.

Como comentado anteriormente as grandezas físicas associadas à radiação eletromagnética são: frequência  $\nu$ , comprimento de onda  $\lambda$ , velocidade **c** e a amplitude **h**.

A relação entre o comprimento de  $\lambda$  e a frequência  $\nu$  é:

$$\nu = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v = \lambda \nu$$

O produto da frequência pelo comprimento de onda sempre será igual à velocidade **c** (velocidade da luz), quando falamos de radiação eletromagnética. Sendo assim, quando estudamos a radiação eletromagnética, a frequência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais. Desta maneira

constatamos facilmente que quando ocorre um aumento do comprimento de onda verificamos uma diminuição da frequência (o inverso também é verdadeiro).

Em função das ondas eletromagnéticas se propagarem com uma velocidade constante  $c$  no vácuo, podemos reescrever a relação entre a frequência  $\nu$  e o comprimento de onda  $\lambda$ :

$$c = \lambda \nu$$

Um feixe de ondas eletromagnéticas possui uma determinada probabilidade de atravessar um meio material sem interagir, conseqüentemente, sem perder energia. Uma partícula carregada sempre interage com o meio perdendo energia gradativamente. Se o meio comentado for o tecido humano, as ionizações dos átomos das células dos tecidos podem produzir quebra molecular e dar origem a alterações profundas (mutações), com conseqüências bastante sérias podendo causar queimaduras e câncer. Normalmente, o tecido vivo tem a propriedade de se recuperar onde as alterações comentadas acima são identificadas e eliminadas pelo organismo [11].

Paralelamente aos experimentos científicos e novas teorias propostas para explicar o átomo, novos experimentos foram realizados e novos conceitos apresentados como o objetivo de explicar a energia e as radiações eletromagnéticas. Em 1900, Max Planck apresentou a idéia de “quantum” de energia. Segundo Planck, a energia não se propaga continuamente, mas sim em quantidades discretas, em “quanta”, em pacotes de energia. O valor destes quanta de energia da radiação eletromagnética é dado pela equação:

$$E = h\nu$$

Onde  $h$  é a constante de Planck.

Como exemplo numérico, vamos calcular a energia de uma radiação X e a energia de uma onda de rádio.

**RADIAÇÃO X**, com  $\nu = 10^{17}$  Hz e  $\lambda = 10^{-9}$  m

$$E = 1,986 \times 10^{-16} \text{ joules ou, em eV}$$

$$E = 1241 \text{ eV.}$$

**ONDA DE RADIO**, com  $\nu = 10^7$  Hz e  $\lambda = 30$  m

$$E = 6,62 \times 10^{-27} \text{ joules ou, em eV}$$

$$E = 4,13 \times 10^{-8} \text{ eV.}$$

onde,

$E$  = energia,

$h$  = constante de Planck ( $6,62 \times 10^{-34}$  joules.s),

$\nu$  = frequência da radiação.

Também podemos reescrever a equação da energia em função da velocidade da luz  $c$  e o comprimento de onda  $\lambda$ :

$$E = h.c/\lambda$$

Como exemplo numérico, vamos calcular a energia de uma radiação X e de uma onda de rádio.

## D – RADIAÇÃO CORPUSCULAR

Outro tipo de radiação presente na natureza, também utilizado experimentalmente, é a radiação corpuscular. A radiação sob a forma de partículas, conhecida como radiação corpuscular, é definida como um feixe energético de partículas ou núcleos atômicos, podemos citar como exemplo: elétrons, pósitrons, prótons, partículas alfa, nêutrons, dêuterons, mésons Pi, múons, etc.

Núcleos atômicos instáveis, em busca de uma maior estabilidade energética emitem espontaneamente algumas dessas partículas, tais como as partículas alfa, os elétrons e os pósitrons. Esse fenômeno é chamado de desintegração ou decaimento nuclear.

### Partículas alfas ( $\alpha$ )

A partícula alfa é o núcleo do átomo de hélio, ou seja, dois prótons e dois nêutrons. Núcleos instáveis de elementos pesados como urânio, tório, polônio e rádio podem ser considerados como fontes emissoras de partículas alfa na natureza. Normalmente o processo de decaimento alfa também está associado a um processo de decaimento por radiação beta e gama [13].

. O núcleo de hélio é pesado quando comparado, por exemplo, com o

elétron. A distância percorrida por uma partícula antes de parar recebe o nome de alcance. Quando analisamos o alcance de duas partículas alfa de mesma energia em um mesmo meio, verificamos que o alcance é o mesmo. Sendo assim, com o aumento da energia da partícula alfa o alcance também aumentará (para um dado meio) e quando fixamos a energia e trocamos o meio por outro mais denso o alcance também diminui. Como comentado, estas partículas possuem uma grande massa, o que facilita o processo de blindagem, uma pequena camada de ar já seria suficiente.

A energia cinética  $K$  de uma partícula de massa  $m$  com velocidade  $v$ , é dada por:

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

## E – INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

### Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico ocorre quando existe interação entre um fóton e um elétron ligado a um determinado átomo, para o qual o fóton transfere toda a sua energia. Este fenômeno foi observado inicialmente em interação de fótons de luz visível e ultravioleta com certos metais. Em experimentos, foi verificado que fótons ao incidir sobre a superfície de certos metais arrancavam ou não arrancavam elétrons. Dessa forma o fóton deixa de existir, sendo parte da energia transferida utilizada para vencer a energia de ligação elétron-átomo, o restante aparecendo sob forma de energia cinética do elétron o qual era chamado de fotoelétron. A dependência estava no comprimento de onda dos fótons incidentes [13].

Durante a realização de novos experimentos foi constatado que a existência do fenômeno estava condicionado a um específico comprimento de onda denominada limiar ( $\lambda_{\text{limiar}}$ ), onde:

- ❖ Se  $\lambda_{\text{limiar}} > \lambda$  não desprende elétrons.
- ❖ Se  $\lambda_{\text{limiar}} < \lambda$  haverá o fenômeno.

O alcance dos fotoelétrons é bem pequeno, de apenas alguns micrômetros

( $\mu\text{m}$ ), o que caracteriza este processo essencialmente local. Sendo assim, toda energia do fóton é absorvida próximo do local da interação.

Na colisão inelástica de um fóton com um elétron de uma das camadas de um átomo; o fóton é completamente absorvido e, assim, o elétron ejetado tem uma energia igual à energia do fóton incidente, menos a energia de ligação. Onde em termos matemáticos temos:

$$E_{\text{fotoelétron}} = E_{\text{incidente}} - E_{\text{ligação}}$$

O efeito fotoelétrico é verificado somente com elétrons ligados, onde o átomo e o elétron ejetado (fotoelétron) podem conservar a quantidade de movimento.

Para que ocorra o efeito fotoelétrico, a energia do fóton incidente deve exceder a energia de ligação do elétron. Este efeito vai ser verificado somente nos elétrons ligados ao átomo, e a interação mais provável de ocorrer é com elétrons mais fortemente ligados ao átomo: órbita **K**.

Einstein em seus estudos desenvolveu a equação de conservação de energia descrita abaixo:

$$h \cdot \nu = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + E_{\text{ligação}}$$

onde:

$\frac{1}{2} m \cdot v^2$ : energia cinética do elétron ejetado.

$E_{\text{ligação}}$ : energia necessária para remover da superfície do metal, função trabalho.

$h \cdot \nu$ : energia do fóton incidente.

### **Espalhamento Compton**

O espalhamento Compton não é um processo local, podemos defini-lo como a interação de um fóton com um elétron fracamente ligado (os elétrons mais externos do átomo). Este fenômeno, ao contrário do efeito fotoelétrico, ocorre com elétrons livres ou elétrons fracamente ligados ao átomo. Neste caso o elétron é ejetado e o fóton é espalhado com energia igual à diferença entre a energia do fóton incidente e a energia adquirida pelo elétron, o fóton espalhado move-se em

direção diferente da inicial. O fóton incidente é absorvido, mas sua energia vai aparecer dividida entre o elétron e um fóton de menor energia.

A probabilidade da interação Compton por unidade de massa é praticamente igual para todos os materiais. O espalhamento Compton é produzido em todos os tipos de equipamentos de Raios X utilizados em serviços de radiodiagnóstico.

No espalhamento Compton parte da energia do fóton é cedida a um elétron e a outra parte vai ficar cedida ao fóton de mais baixa energia, que por sua vez, é absorvido. O fóton mantém sua trajetória em uma direção diferente com uma menor energia. Sendo assim, podemos afirmar que, por exemplo, a quantidade de energia de um feixe de Raios X que sofre o espalhamento Compton é igual à diferença verificada entre a energia do fóton de Raios X incidente e a energia do elétron ejetado. A energia do elétron ejetado será igual à energia de ligação do elétron mais a energia cinética adquirida pelo elétron após interação [13].

Os fótons de Raios X espalhados por este mecanismo de interação da radiação com a matéria são os causadores da exposição ocupacional. Pois, quando da realização de procedimentos de radiodiagnóstico o feixe de radiação X é direcionado ao paciente e após a interação desta radiação com a matéria (paciente) é espalhada para todos os lados o que sistematicamente expõe os profissionais envolvidos no procedimento.

### **Produção de Pares**

O fenômeno de Produção de Pares se caracteriza pela interação entre um fóton e o núcleo do átomo. Este mecanismo de interação da radiação com a matéria é um ótimo exemplo da conservação de energia radiante em massa de repouso e energia cinética. O processo de interação faz com que o fóton desapareça e apareçam em seu lugar dois elétrons; um com carga positiva chamada pósitron e outro com carga negativa. O pósitron é gerado com uma energia cinética maior que a energia cinética do elétron porque o fenômeno de interação coulombiana do par com o núcleo positivamente carregado produz uma aceleração no pósitron e uma desaceleração no elétron.

Quando a energia do fóton é maior do que 1,02 MeV, o processo de produção de pares pode ocorrer. O elétron e o pósitron criados, no processo de

interação com o núcleo, possuirão uma energia cinética igual à energia do fóton incidente menos 1,02MeV. Um elétron e um pósitron, estando essencialmente em repouso próximos um do outro, se unem e são aniquilados produzindo dois fótons, cada um com uma energia de 0,511 MeV (radiação de aniquilação) [13].

Produções de pares (elétron-pósitron) são verificadas na natureza por interações produzidas por fótons de raios cósmicos e na medicina quando da utilização de aceleradores lineares em terapias contra o câncer.

### **Fotodesintegração**

Os fótons com energia superior a 10 MeV podem escapar da interação com os elétrons e com o campo eletrostático nuclear sendo absorvidos diretamente pelo o núcleo do átomo. Quando isso ocorre, o núcleo tem o seu estado de excitação elevado emitindo, instantaneamente, um nucleon ou um fragmento nuclear. Este processo se conhece como fotodesintegração [13].

## MÓDULO 2

### Fundamentos de Raios X

#### F – BREVE HISTÓRICO DOS RAIOS X

A radiação eletromagnética ionizante do tipo X, os Raios X, não foi inventada, ela foi descoberta. A referida descoberta se deu durante realização de observações e levantamento de dados para uma pesquisa que não tinha como objetivo a detecção de outro tipo de radiação. Por este fato muitos autores consideram que os Raios X foram descobertos de forma acidental. Durante as décadas de 1870 e 1880, os laboratórios de Física de diversas universidades investigavam os fenômenos relacionados com os raios catódicos, ou elétrons, através de grandes tubos de vidros, conhecidos como Tubos de Crookes, onde eram confeccionados com a produção de um vácuo parcial em seu interior. William Crookes foi um inglês de origem bastante humilde, o qual ficou conhecido por todos como um gênio autodidata. O tubo que leva seu nome é considerado o antepassado das lâmpadas fluorescentes e dos atuais tubos de neon [12, 6].

Em 8 de novembro de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen se encontrava trabalhando em seu laboratório na Universidade de Würzburg, na Alemanha. Ele optou em escurecer seu laboratório e tapar o tubo de Crookes com algum tipo de papel cartolina preta, com o objetivo de visualizar melhor os efeitos dos raios catódicos no tubo. Uma placa fluorescente (placa coberta com platinocianeto de bário) estava por “acaso” em sua bancada de trabalho a vários metros do tubo de Crookes. Com esta adaptação o tubo não emitia nenhum raio de luz visível devido ao papel que o cercava, porém Röntgen notou a fluorescência do platinocianeto de bário, apesar da distância que o separava do tubo de Crookes. Percebeu que a intensidade da fluorescência aumentava à medida que ele aproximava a placa fluorescente do tubo. Röntgen começou a investigar imediatamente esta “radiação desconhecida”, colocando diversos materiais (madeira, alumínio, sua mão, etc.) entre a placa fluorescente e o tubo. O termo radiação X foi utilizado de maneira provisória, pois na matemática quando não se sabe o valor normalmente

utiliza-se à letra X. Como Röntgen não sabia o que era (não conhecia aquela radiação) chamou de Radiação X, temporariamente até identificá-la [12, 6 e 2].

Com relação à descoberta deste novo tipo de radiação podemos comentar e ressaltar vários fatos surpreendentes os quais devem ocupar um lugar destacado na história da ciência, e por que não dizer, na história da humanidade. Em primeiro lugar, para muitos, a descoberta foi quase acidental. Em segundo lugar, existia nada menos que uma dezena de físicos contemporâneos a Röntgen que também estavam observando, ou já haviam observado, essa nova radiação, porém nenhum pesquisador considerou importante ou se motivou a investigá-la. Em terceiro lugar, Röntgen ficou tão motivado e envolvido com esta nova forma de radiação, ao final de pouco mais de um mês ele já havia descoberto quase todas as propriedades dos Raios X que conhecemos atualmente. Em quarto lugar, Röntgen vislumbrou a possibilidade de utilizar esta radiação na Medicina. Produziu e publicou a primeira radiografia da Medicina, a radiografia histórica da mão de sua esposa, esta imagem apresentava um padrão de qualidade suficiente para realização de um laudo médico [2, 7].

## **G - CARACTERÍSTICAS DOS RAIOS X**

Em função da dedicação do Röntgen ao estudo da nova radiação em pouco tempo ele conseguiu identificar nove (9) características básicas dos Raios X:

- A - causam fluorescência em certos sais metálicos;
- B - enegrecem películas fotográficas;
- C - são radiações do tipo eletromagnéticas, pois não sofrem desvios em campos elétricos e magnéticos;
- D - são diferentes dos raios catódicos;
- E - tornam-se “duros” (mais penetrantes) após passarem por absorvedores;
- F - produzem radiações secundárias (radiação espalhada) em todos os corpos que atravessam e/ou interagem;
- G - propagam-se em linha reta (do ponto focal) para todas as direções;
- H - transformam gases em condutores elétricos (ionização);
- I - ficam mais energéticos, mais penetrantes, quanto maior for o parâmetro de

tensão do tubo (kV).

## **H – O TUBO DE RAIOS X**

Qualquer equipamento que tem a necessidade de gerar fótons de Raios X, independentemente do seu projeto ou fabricante, possui três componentes principais: o tubo de Raios X, o painel de controle e o gerador de alta tensão.

O objetivo do tubo de Raios X é produzir um fluxo controlado de elétrons a fim de possibilitar a geração de um feixe de Radiação X de qualidade e intensidade desejada. Quando analisamos os Tubos de Raios X verificamos que estes são constituídos de quatro componentes principais: o envoltório de vidro, o cabeçote protetor, o cátodo e o ânodo.

O envoltório de vidro é do tipo *Pyrex®*, pois este resiste a grande quantidade de energia térmica produzida no interior do tubo e resiste também às pressões atmosféricas ampliadas com a utilização de pré-vácuo em seu interior. A existência do vácuo é importante para possibilitar e aumentar a eficiência da produção do feixe de Raios X e para aumentar a durabilidade do tubo. Se por acaso não houvesse a existência de um vácuo, os elétrons colidiriam com as partículas de gases diminuindo a produção do feixe de Raios X e aumentando muito a quantidade de energia térmica produzida, o que certamente comprometeria a durabilidade do tubo de Raios X [2, 7 e 8].

O tubo de Raios X é envolvido por uma cúpula protetora (cabeçote protetor) confeccionado basicamente de chumbo; esta estrutura tem a função de blindar a radiação de fuga. A radiação de fuga é definida como a radiação que não contribui para a formação da imagem radiográfica que consegue atravessar o cabeçote protetor e/ou sistema de colimação, não pertencente ao feixe primário. Também chamada radiação de vazamento. Sendo assim, ela só causa uma exposição desnecessária aos pacientes, técnicos, funcionários, estagiários e da população em geral. No momento da produção dos Raios X, eles são emitidos de forma isotrópica, quer dizer, com a mesma intensidade em todas as direções. Os fótons de Raios X utilizados para a produção de imagem radiográfica são aqueles que por meio do processo de colimação são delimitados e direcionados para o paciente, depois desse processo são chamados de feixe útil. O cabeçote protetor,

além de servir como blindagem adicional e suporte mecânico, contém óleo para resfriar o tubo, durante a utilização do equipamento de Raios X [6, 8].

O Cátodo, que compõe o pólo negativo do Tubo de Raios X, é formado por um filamento de tungstênio, em formato de espira, medindo aproximadamente 2 mm de diâmetro por 1 a 2 cm de comprimento. Por meio dele são produzidos e emitidos os elétrons, por emissão termiônica. O tungstênio é o material mais utilizado na produção de cátodos, pois possui a característica de emitir um maior número de elétrons por emissão termiônica, quando comparado com outros metais, devido a sua resistência a altas temperaturas em função de possuir um alto ponto de fusão, 3410°C. Nos filamentos, normalmente, são introduzidos 1 a 2% de tório ao tungstênio, o que produz uma liga metálica com ponto de fusão ainda mais alto. Com esta dopagem o filamento fica mais resistente o que dificulta a ocorrência do seu rompimento por queima [8].

Com o objetivo de focalizar os elétrons emitidos pelo cátodo em direção ao ânodo o filamento está condicionado em uma capa focalizadora. O princípio de funcionamento da capa focalizadora é a repulsão de cargas, para isso, ela é carregada negativamente. A repulsão mantém o feixe de elétrons focado concentrando-o em uma área pequena no ânodo. O tamanho e carga da capa focalizadora, a forma e tamanho do filamento e a posição do filamento no interior da capa focalizadora determinam a eficiência desta [6].

Com relação ao ânodo, normalmente confeccionado de cobre, é o pólo positivo do tubo de Raios X, este componente pode ser dividido em dois tipos, ânodo fixo e ânodo rotatório. O ânodo fixo é normalmente utilizado em equipamentos em que não utilização de altos valores de correntes ou grandes valores de potências como, por exemplo: Equipamento de Raios X Periapical (Raios X Odontológico). O ânodo rotatório é normalmente utilizado em equipamentos que necessitam de altos valores de corrente e intensidades de Raios X em um intervalo de tempo pequeno

O alvo é a região do ânodo onde ocorre o impacto dos elétrons. Normalmente o alvo também é confeccionado de tungstênio devido ao seu alto número atômico, uma vez que quanto maior o número atômico do material, mais fótons de radiação X poderão ser produzidos sem ocasionar, necessariamente,

uma grande produção de energia térmica. O tungstênio também possui uma boa condutividade térmica, que possibilita uma rápida dissipação da temperatura. Cabe ressaltar, novamente, que a característica do tungstênio de possuir um alto ponto de fusão, justifica a utilização deste elemento como alvo em tubos de Raios X [06].

O fato de o alvo ser angulado também é fator importante em relação ao ponto focal. Nos equipamentos de radiodiagnóstico convencionais este ângulo varia de  $6^\circ$  a  $16^\circ$ , fazendo com que a projeção do foco aparente seja menor que o foco efetivo. Este fenômeno é chamado de princípio do ponto focal.

No momento em que os elétrons acelerados se chocam com o alvo é verificada a produção dos Raios X. A energia cinética do elétron se transforma em energia eletromagnética. O equipamento de Raios X possui a função de produzir uma intensidade suficiente e controlada do fluxo de elétrons para gerar um feixe de Raios X em quantidade e qualidade desejadas [8].

Os diferentes tipos de equipamentos de Raios X podem ser classificados de acordo com a energia dos Raios X que são produzidos, ou segundo a finalidade a que eles se destinam. Podem utilizar tensões máximas entre 20 e 150 kVp e correntes no tubo entre 20 e 1200 mA.

## **I - PRODUÇÃO DOS RAIOS X**

Os Tubos de Raios X são confeccionados de modo a possibilitar que um grande número de elétrons seja produzido e acelerado em direção de um anteparo sólido (alvo).

O processo de aceleração dos elétrons está relacionado com os parâmetros de tensão aplicada entre o ânodo e o cátodo. Em um equipamento de Raios X, operando a uma tensão de 80 kV, quase todos os elétrons atingem o alvo com uma energia cinética de 80 keV, correspondendo a aproximadamente metade da velocidade da luz no vácuo.

Quando os elétrons produzidos pelo cátodo e acelerados pela diferença de potencial aplicada entre o cátodo e o ânodo atingem o alvo interagem com o mesmo, transferindo suas energias cinéticas para os átomos do alvo. Estas

interações ocorrem em pequenas profundidades de penetração no alvo. Quando analisamos o processo de interação mais de perto verificamos que ele ocorre com os elétrons existentes na eletrosfera dos átomos do alvo e/ou seus núcleos. Durante as referidas interações ocorre a conversão (transformação) de energia cinética em energia térmica e em energia eletromagnética ionizante (os Raios X) [7].

A maior parte da energia cinética dos elétrons é convertida em energia térmica, através de múltiplas colisões com os elétrons dos átomos do alvo.

Durante as interações (ionizações), se verifica a produção de uma cascata de elétrons de baixa energia. Estes elétrons não possuem energia suficiente para prosseguir ionizando os átomos do alvo, mas conseguem excitar os elétrons das camadas mais externas, os quais retornam ao seu estado normal de energia emitindo radiação infravermelha. Aproximadamente 99% da energia cinética dos elétrons incidentes é transformada em energia térmica e cerca de 1% desta energia é transformada em radiação eletromagnética ionizante do tipo X. O fenômeno de produção de energia térmica no ânodo do tubo de Raios X aumenta com o aumento da corrente no tubo (mA). Duplicando o valor representativo da corrente, duplica-se a quantidade de energia térmica. Cabe ressaltar que a eficiência na produção dos Raios X independe da corrente do tubo e aumenta com a energia cinética do elétron-projétil. Para uma tensão de 65 kV, somente 0,5% da energia cinética do elétron é convertida em Raios X, enquanto que para uma energia de 20 MeV (verificadas em aceleradores lineares), 70% dessa energia produz Raios X [12].

Durante a análise do fenômeno de produção de Raios X verificamos a existência de dois mecanismos diferenciados em função do tipo de interação entre o elétron-projétil e a eletrosfera e núcleo dos átomos do alvo, conhecidos como: Raios X de Freamento e Raios X Característicos.

### **Raios X de Freamento**

A produção dos Raios X de Freamento está relacionada com interação do elétron incidente com o núcleo do átomo do alvo. Quando o referido elétron passa bem próximo do núcleo do átomo do alvo a atração entre o elétron carregado negativamente e o núcleo positivo faz com que o elétron seja desviado de sua

trajetória perdendo parte de sua energia. Esta energia cinética perdida é emitida na forma de Raios X, Figura 07, que é conhecido como Raio X de “*bremsstrahlung*” ou radiação de freamento.

Em função da distância entre a trajetória do elétron incidente e o núcleo, o elétron pode perder parte ou até toda sua energia. Este mecanismo de interação condiciona os fótons de Raios X de “*bremsstrahlung*” a ter diferentes energias, desde valores baixos até a energia máxima que é igual à energia cinética do elétron incidente. Por exemplo, um elétron com energia de 80 keV pode produzir Raios X “*bremsstrahlung*” com energia entre 0 e 80 keV.

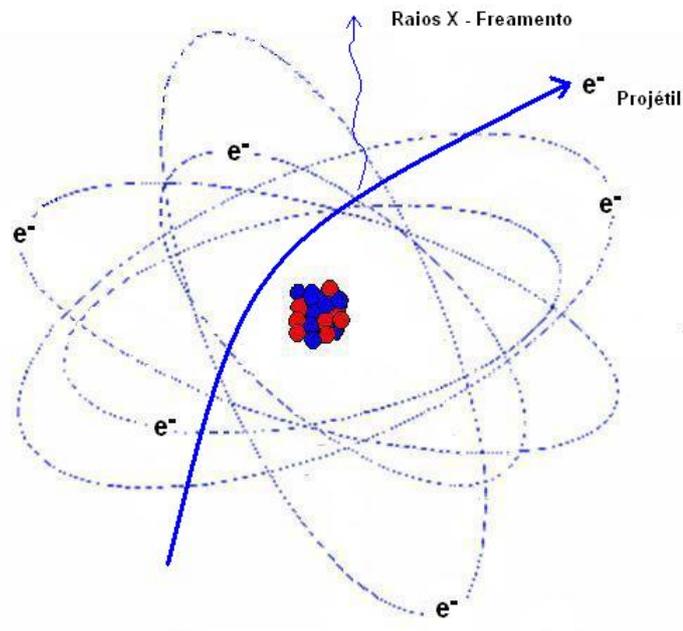


Figura 07: Radiação de Freamento.

### Raios X Característicos

A produção dos Raios X Característicos está relacionada com o processo de interação (colisões) entre o elétron incidente e um elétron orbital ligado ao átomo no material do alvo. O referido elétron incidente transfere energia suficiente ao elétron orbital para que seja ejetado de sua órbita, deixando um “buraco”. Logo após a colisão, esta falta de elétrons é imediatamente corrigida com a passagem de um elétron de uma órbita mais externa para este buraco. O que possibilita esta passagem é a diminuição da energia potencial do elétron e o excesso de energia é emitido como fótons de Raios X [2]. Este processo de reorganização pode

ocorrer numa única onda eletromagnética emitida ou em transições múltiplas (emissão de vários fótons de Raios X de menor energia). Sabendo que os níveis de energia dos elétrons são únicos para cada elemento, característicos de cada elemento, os Raios X decorrentes deste processo também são únicos e, portanto, característicos de cada elemento (material). Daí o nome de Raios X característicos conforme indicado na Figura 08.

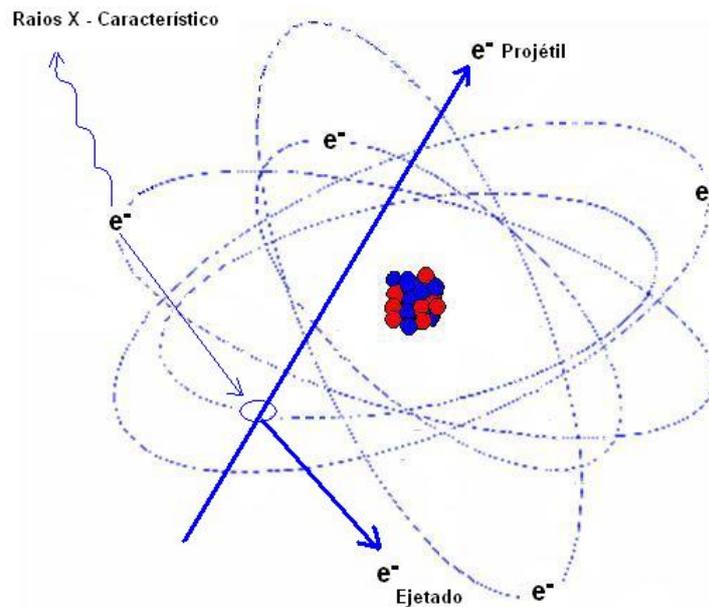


Figura 08 – Radiação Característica.

## J - EMISSÃO DE RAIOS X

As características relacionadas com o espectro de emissão são fundamentais para descrever os processos de produção da imagem radiográfica em uma película utilizando como fonte emissora de radiação um Tubo de Raios X. O espectro de emissão pode ser representado por meio de um gráfico da quantidade de fótons de determinada energia versus a energia (Figura 09). A energia máxima expressa em keV é igual ao parâmetro representativo de tensão (kV). Um espectro contínuo, considerando seu formato, é o mesmo para qualquer equipamento de Raios X. As linhas correspondem às radiações características que, para ânodo de tungstênio, só aparecem nos espectros gerados com tensão acima de 70 kV. E quando focamos a análise para as radiações características emitidas por um Ânodo de Molibdênio verificamos que estas só aparecem nos

espectros gerados por tensão acima de 20 kV.

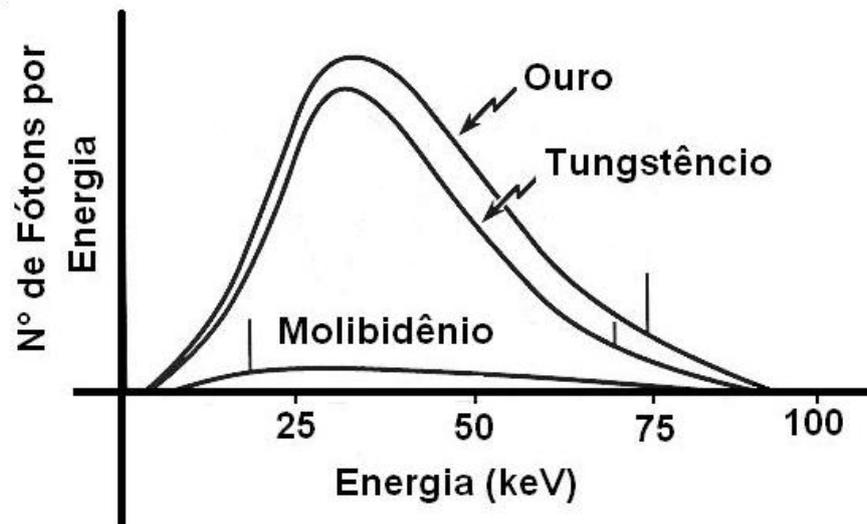


Figura 09 – Espectro de emissão de Raios X para diferentes materiais do alvo.

O número total de fótons emitidos por um tubo de Raios X pode ser determinado somando o número de fótons emitidos para cada energia, num processo de integração. Considerando esta característica, o número de fótons emitidos é equivalente à área abaixo da curva de emissão.

De uma maneira geral, a forma de um espectro de emissão é sempre a mesma, porém sua posição relativa pode mudar ao longo do eixo da energia. Sendo assim, quando for verificado um deslocamento, do espectro, para direita, maior será a energia efetiva ou a qualidade do feixe de Raios X. Também podemos afirmar que quanto maior for a área abaixo da curva, maior será a intensidade ou quantidade de fótons de Raios X [2].

Sendo assim, apresentamos no Quadro 2 a seguir uma série de parâmetros técnicos relacionados diretamente com a alteração no tamanho e na forma do espectro de emissão de um feixe de Raios X [6].

QUADRO 2. Parâmetros técnicos que influem no tamanho e posição relativa dos espectros de emissão de Raios X.

<b>Fator</b>	<b>Efeito</b>
Corrente	Amplitude do espectro
Tensão do Tubo	Amplitude e posição
Filtração Adicionada	Amplitude (mais eficaz a baixas energias)

Material do Alvo	Amplitude do espectro e posição do espectro de linha
Forma de Onda	Amplitude

FONTE: Bushong [6]

### Influência da Corrente

Duplicando o parâmetro de corrente de 200 mA para 400 mA, mantendo constante os outros parâmetros técnicos, será verificado um número duas vezes maior de elétrons se deslocando do cátodo para o ânodo. Conseqüentemente, produzir-se-á duas vezes mais fótons de Raios X para qualquer energia. Sendo assim, o espectro de emissão mudará a amplitude, mas não sua forma, como mostra a Figura 10.

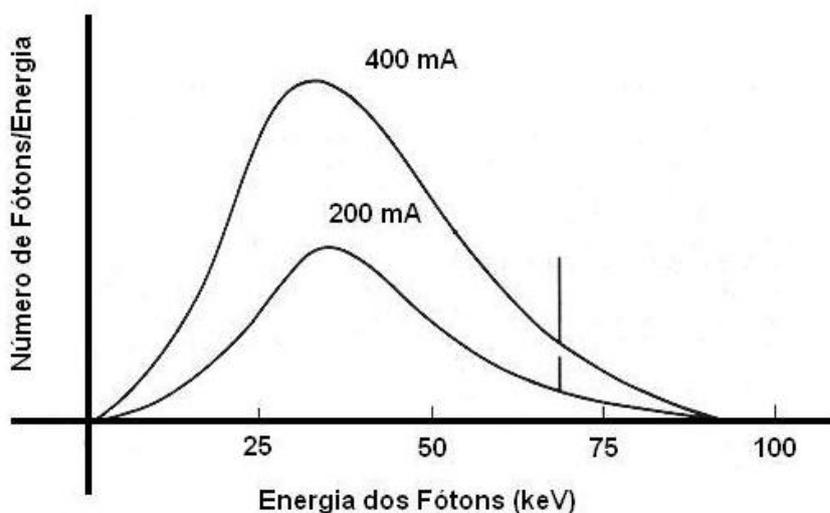


FIGURA 10 – Espectro de emissão de raios X para diferentes valores de corrente.

FONTE: Adaptada de Bushong [06]

Uma alteração de um ponto na curva de 400 mA representa a alteração de dois pontos correspondente na curva de 200 mA. Qualquer mudança na corrente do tubo resultará uma mudança proporcional na amplitude do espectro de Raios X em todas as energias. Cabe comentar que esta relação também é verdadeira para as mudanças na carga transportável (mAs) [6].

### Influência da Tensão do Tubo

Quando analisamos a influência da tensão percebemos que, diferentemente, de uma mudança na corrente do tubo, uma variação na tensão de pico (kVp) afeta a amplitude e a posição do espectro de emissão de Raios X. Aumentando a tensão pico (kVp), a área abaixo da curva aumenta proporcionalmente com o quadrado do fator que se aumentou a tensão (kVp) e, portanto, a intensidade aumenta com o quadrado do fator. Este aumento na tensão produzirá um deslocamento do espectro para a direita. Sendo que o valor representativo de energia máxima da emissão é numericamente igual ao valor representativo de tensão de pico aplicada durante a produção do feixe de radiação X [2].

Na Figura 11 é representado o efeito do aumento da tensão de pico, desde que mantidos os outros fatores constantes. Podemos observar que o espectro inferior representa a operação de um equipamento de Raios X a uma tensão pico de 72 kVp e o espectro de emissão superior representa a operação de um equipamento de Raios X a uma tensão pico de 82 kVp, o que supõe um aumento nos valores de tensão de 10 kVp. Podemos notar que a área abaixo da curva praticamente dobrou, além do que, a posição relativa da curva desviou para regiões de energia mais alta. Considerando o que foi apresentado podemos afirmar que quando utilizamos um equipamento de Raios X com uma tensão de pico de 82 kVp são emitidos mais fótons que quando utilizarmos um equipamento de Raios X com uma tensão pico de 72 kVp. Este aumento é maior para os fótons de Raios X de alta energia, que para os de baixa [2].

Considerando os valores apresentados acima, existe a possibilidade de elaborar uma regra simples que pode ser utilizada pelos técnicos para relacionar as mudanças de tensão de pico e a corrente para produzir uma densidade ótica constante na película. Esta regra afirma que um aumento de 15 % na tensão de pico equivale a duplicar a carga transportável. Quando o parâmetro de tensão pico (kVp) é elevado se verifica um aumento no poder de penetração do feixe de radiação e o paciente estará exposto a valores inferiores de dose de radiação.

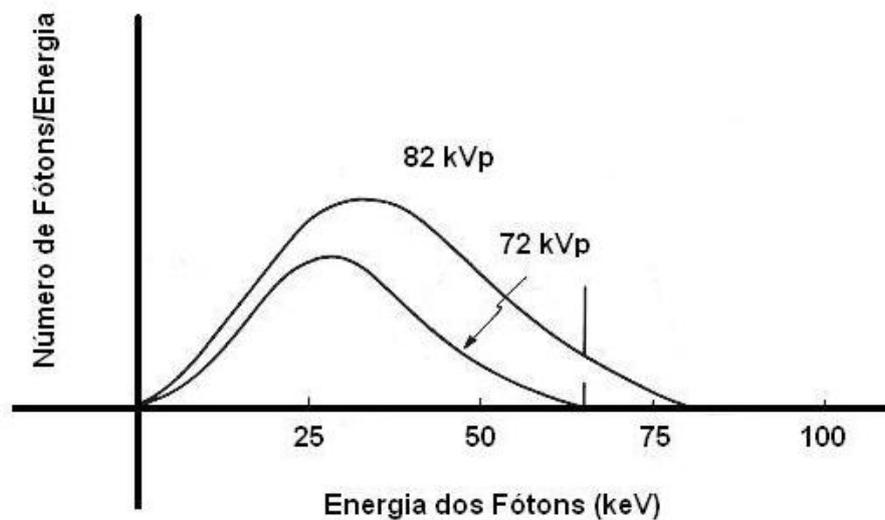


FIGURA 11 – Espectro de emissão de raios X para diferentes valores de tensão de pico.

### Influência da Filtração Adicionada

Adicionando filtros no feixe primário de Raios X podemos verificar um efeito sobre a forma do espectro, efeito este similar ao aumento da tensão de pico. O referido efeito é apresentado na Figura 12, onde um tubo de Raios X acionado com um parâmetro de tensão pico de 95 kVp, com uma filtração adicional de 2 mm de Alumínio (Al), em comparação com o mesmo valor representativo de tensão, porém com uma filtração adicional de 4 mm de Al.

Adicionando o filtro, os fótons de Raios X de energia mais baixa são absorvidos de maneira mais eficiente, de forma que o espectro de emissão se distribui mais à esquerda que à direita. Sendo assim, podemos constatar um aumento na energia efetiva do feixe de Raios X, ou seja, maior poder de penetração e com a consequente redução da intensidade do feixe.

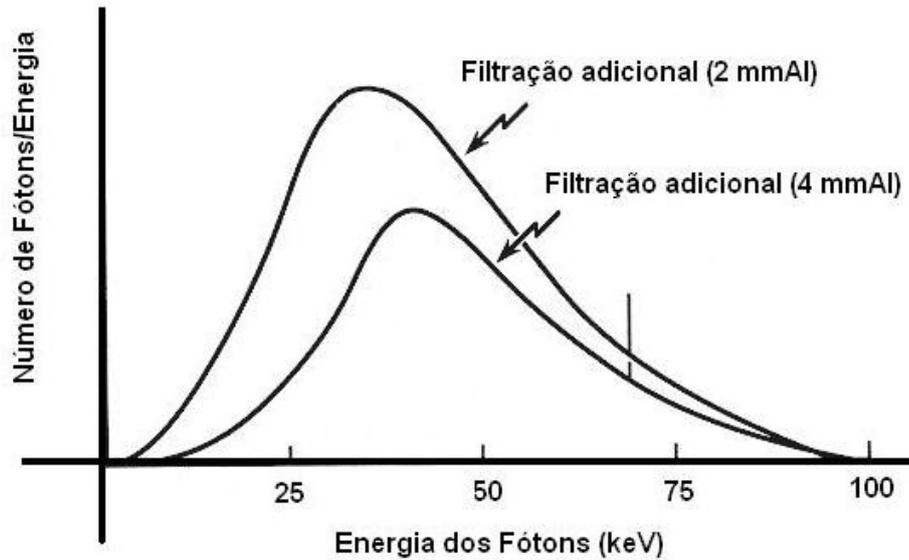


FIGURA 12 – Espectro de emissão dos raios X filtrados por diferentes espessuras adicionadas alumínio.

FONTE: Bushong [06]

### Influência do Material do Alvo

O material do alvo contribui diretamente com a forma do espectro de emissão dos Raios X. Aumentando o número atômico do material do alvo, aumenta-se a eficiência na produção de radiação de freamento, sendo que fótons de alta energia são produzidos com mais intensidade que os de baixa energia. Aumentando o número atômico do material do alvo, o espectro discreto é desviado para direita, devido à influência da radiação característica de energia mais alta como pode ser visto na Figura 13. Este efeito físico é o resultado direto da maior energia de ligação dos elétrons dos elementos com número atômico maior.

Normalmente o material utilizado no alvo é o tungstênio, sendo que alguns tubos especiais empregam ouro e molibdênio. Os números atômicos do tungstênio, do ouro e molibdênio são 74, 79 e 42, respectivamente [2].

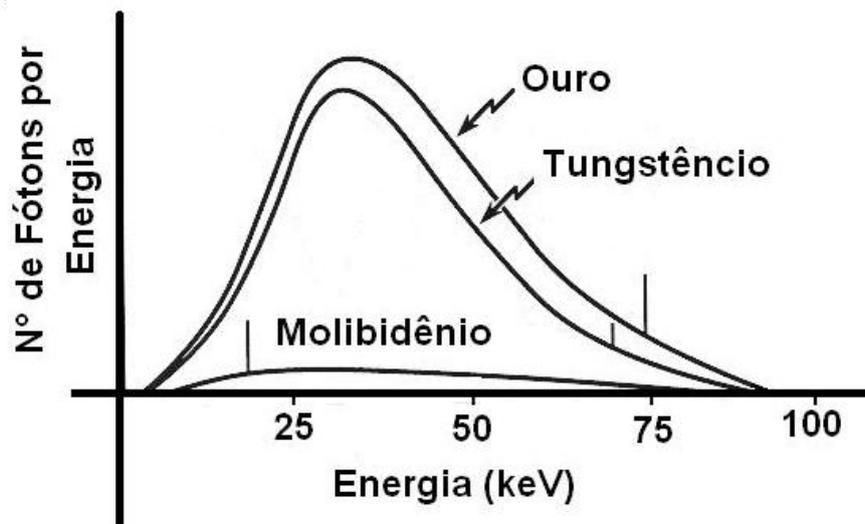


FIGURA 13 – Espectro de emissão dos raios X para diferentes materiais do alvo.

FONTE: Bushong [06]

### Influência da Forma de Onda da Tensão

Podemos trabalhar com cinco tipos principais de formas de onda da tensão produzidos pelos modernos equipamentos de Raios X: retificação de onda média, retificação de onda completa, trifásica de seis pulsos, trifásica de doze pulsos e alta frequência. As formas de onda de tensão retificada, em meia onda e onda completa são iguais exceto pela frequência de repetição. A diferença entre potência trifásica de seis pulsos e de doze pulsos é simplesmente o menor ruído obtido com a geração de doze pulsos.

A onda de tensão de operação trifásica, ou de alta frequência, dá lugar a emissões de Raios X consideravelmente mais homogêneas (menor variação) que a operação monofásica.

A relação entre a intensidade de saída e o tipo de gerador é a base de outra regra geral empregada pelos técnicos em radiologia: os parâmetros técnicos utilizados num equipamento trifásico equivalem a um aumento de 12% em relação ao monofásico. Os geradores de alta frequência proporcionam um aumento de aproximadamente 16% na intensidade dos Raios X quando comparado com os equipamentos monofásicos.

Esta relação é apresentada Figura 14, onde podemos observar e comparar três espectros de emissão: 1 - unidade retificada de onda completa, 2 - gerador trifásico de doze pulsos, 3 - gerador de alta frequência. Todos os 3 espectros

foram produzidos com uma tensão de 92 kV e com a mesma carga transportável.

O espectro de emissão de Raios X resultante da operação em alta frequência é evidentemente mais eficaz que o obtido com um equipamento monofásico ou com um trifásico. A área abaixo da curva é consideravelmente maior e o espectro está desviado para o lado das energias mais altas [6].

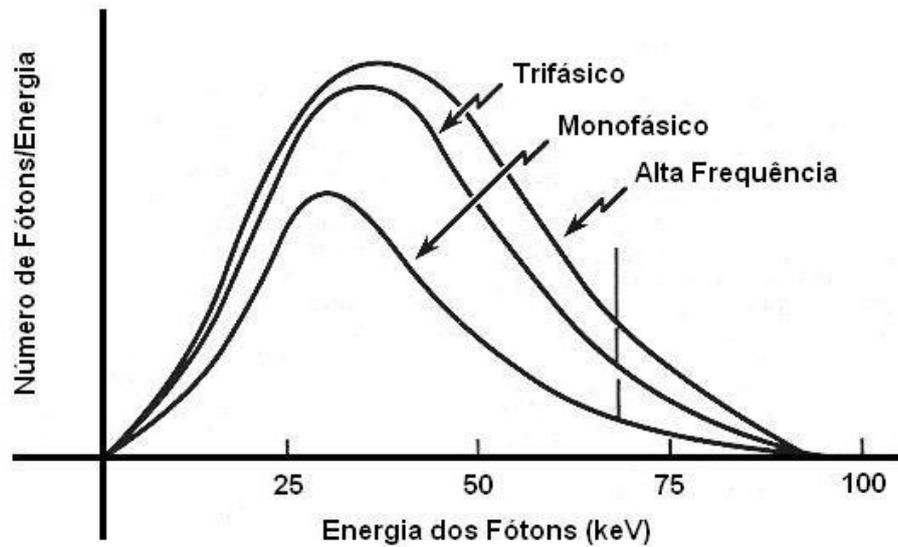


FIGURA 14 – Efeitos da forma de tensão no espectro de emissão de raios X.

FONTE:

Bushong

[06]

# MÓDULO 3

## Radioatividade e Segurança Radiológica

### L - RADIOATIVIDADE

Podemos definir radioatividade como sendo: emissão espontânea de radiação como resultado do decaimento, ou desintegração, de núcleos instáveis.

Existe a possibilidade de comparar núcleos instáveis (substâncias radioativas) por meio de sua atividade. Atividade de uma amostra radioativa é o número de desintegrações nucleares por unidade de tempo. A unidade de atividade no Sistema Internacional é o becquerel (Bq), sendo que 1 Bq é igual a uma desintegração por segundo.

Cada elemento radioativo, seja natural ou obtido artificialmente, se desintegra a uma velocidade que lhe é característica. Para se estimar o tempo de emissão de um determinado elemento radioativo identificamos o tempo que este elemento leva para ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial. Esse intervalo de tempo é denominado meia-vida do elemento. Por exemplo, a meia-vida do urânio-235 é de 713 milhões de anos, do urânio-238 é de 4,5 bilhões de anos, do Césio 137 é de 30 anos e do Iodo 131 é 8 minutos [12].

São 3 os decaimentos verificados por uma substâncias radioativa:

Decaimento alfa ( $\alpha$ );

Partículas alfa são emitidas por núcleos de elementos pesados como o urânio, tório e polônio na desintegração nuclear. São núcleos de átomos de hélio, constituídos de dois prótons e dois nêutrons. Como as partículas alfa são pesadas suas trajetórias são quase retilíneas (em um dado meio) com um alcance pequeno, ou seja, o poder de penetração é pequeno conseqüentemente são facilmente blindadas.

O decaimento beta ( $\beta$ );

Partículas *beta* são elétrons (beta menos) e pósitrons (beta mais). Os pósitrons são partículas semelhantes aos elétrons em todos os aspectos, exceto quanto a sua carga, que é positiva. Por esta característica o pósitron pode ser

classificado como a antimatéria, ou antipartícula, do elétron. Usa-se o símbolo  $\beta$  para o elétron e o símbolo  $\beta^+$  para o pósitron.

O decaimento gama ( $\gamma$ );

Geralmente, após a emissão de uma partícula alfa ou beta, o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, denominada radiação gama [13].

Podemos identificar estas três formas de radiação emitidas por uma substância radioativa dirigindo o feixe de radiação para uma região em que existe um campo magnético intenso. Nestas condições, o feixe de radiação se divide em três componentes, dois deles desviados em sentido oposto, e o terceiro sem alteração da direção. Podemos concluir que a radiação do feixe que não sofre desvio não tem carga (os raios gama), que os feixes desviados para esquerda e para direita possuem carga (positiva - partícula  $\alpha$  - negativa - partícula  $\beta^-$ ). Se o feixe tiver também pósitron ( $\beta^+$ ), haverá também um componente desviado para cima.

Os três tipos de radiação têm poderes de penetração muito diferentes. As partículas alfa dificilmente passam através de uma folha de papel, as partículas beta podem penetrar alguns milímetros de alumínio e os raios gama podem atravessar vários centímetros de chumbo [13].

## **M - PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**

Com o objetivo de permitir a sociedade gozar dos benefícios oriundos da utilização das radiações ionizantes na medicina e na indústria, com o menor risco possível para trabalhadores e população, foram idealizadas as ações de proteção radiológica. A proteção radiológica esta associada diretamente com um conjunto de medidas que visa proteger o homem, seus descendentes e seu meio ambiente contra possíveis efeitos indevidos causados pela radiação ionizante.

Após a descoberta dos Raios X os níveis de exposição às radiações ionizantes aos quais a população em geral estava exposta aumentaram consideravelmente. Já em fins de 1895, algumas queimaduras na pele de

peças expostas aos Raios X apareceram, criando alguns questionamentos referentes à segurança do uso desta radiação na medicina [7].

Com o objetivo de verificar se a exposição à radiação X é realmente perigosa, em 1896, Elihu Thomson decidiu realizar uma experiência audaciosa, resolveu expor seu dedo mínimo esquerdo durante meia hora por dia, ao feixe primário de Raios X, usando uma distância entre o tubo e a pele menor que 3 cm. No decorrer da realização da experiência ele realizava observações de seu dedo. A partir de uma semana ele começou a sentir dores e notou uma inflamação e subsequente formação de bolhas, concluindo que a exposição aos Raios X, além de um certo limite, podia causar sérios problemas. Desde então, a comunidade científica iniciou um trabalho focado em estabelecer metodologias de medida da radiação e normas de proteção radiológica [8].

No primeiro Congresso Internacional de Radiologia em Londres, em 1925, foram discutidas as unidades e grandezas para medida das radiações como também as normas de trabalho com Raios X. No decorrer do congresso foi criada a Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação (ICRU), tendo como principal objetivo padronizar as unidades e grandezas como também estudar e publicar recomendações a serem aceitas internacionalmente sobre grandezas e unidades de medida para radiação ionizante e radioatividade.

Em 1928, em Estocolmo, foi realizado o Segundo Congresso Internacional de Radiologia onde foi fundada a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP). A principal função desta comissão era a de fornecer guias gerais para o uso de radiação estabelecendo limites dosimétricos para os trabalhadores e o público em geral [7].

No Brasil, foi criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) a qual ficou responsável pela legislação e normatização do uso da radiação, tendo publicado em 19 de setembro de 1973 as “Normas Básicas de Proteção Radiológica”, que regem o uso da radiação no país.

E em 1º de junho de 1998 a Secretaria de Vigilância Sanitária publicou a Portaria nº 453, que considera:

*a expansão do uso das radiações ionizantes na medicina e odontologia no país;  
os riscos inerentes ao uso das radiações ionizantes e a necessidade de se  
estabelecer uma política nacional de proteção radiológica na área radiodiagnóstica;*

*que as exposições radiológicas para fins de saúde considerando a principal fonte de exposição a fontes artificiais de radiação ionizante;*  
*a necessidade de garantir a qualidade dos serviços de radiodiagnóstico prestados à população, assim como de assegurar os requisitos mínimos de proteção radiológica aos pacientes, aos profissionais e ao público em geral;*  
*a necessidade de padronizar em nível nacional, os requisitos de proteção radiológica para o funcionamento dos estabelecimentos que operam com raios X diagnósticos e a necessidade de detalhar os requisitos de proteção em radiologia diagnóstica e intervencionista na Resolução nº 6, de 21 de dezembro de 1988, do Conselho Nacional de Saúde;*  
*as recomendações da Comissão Internacional de Proteção Radiológica estabelecidas em 1990 e 1996, refletindo a evolução dos conhecimentos científicos no domínio da proteção contra radiação aplicada às exposições radiológicas na saúde;*  
*as recomendações do instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, (CNEN), órgão de referência nacional em proteção radiológica e metrológica das radiações ionizantes[10].*

Os limites máximos permissíveis de dose são modificados sistematicamente com o passar dos anos. Na Tabela1 são apresentados os valores recomendados pelas diversas comissões e as adotadas por diferentes países, desde 1924.

Na tabela (terceira coluna), os valores e as unidades de medida são apresentados tal qual a publicação original. Na quarta coluna essas recomendações foram convertidas, com o objetivo de comparação, para mSv/ano (dose equivalente/ano).

Podemos observar que houve uma redução acentuada e gradual nos limites de dose recomendados com o passar dos anos. Este comportamento é justificado porque até a década de 1940, o principal objetivo da proteção radiológica era proteger os trabalhadores contra os efeitos determinísticos da radiação devidos à alta dose. À medida que os conhecimentos a respeito dos efeitos estocásticos e genéticos foram aumentando, efeitos estes ocasionados por doses mais baixas, eles foram sendo levados em consideração nas recomendações. Em 1947, o Comitê Nacional de Proteção Radiológica (NCRP) dos Estados Unidos, utilizando como referência resultados de experiências com animais no Projeto Manhattan reduziu ainda mais o limite. A justificativa para redução não foi centrada nas evidências positivas de danos associados pela adoção do valor anterior, mas considerando que havia muitas incertezas, poucos dados e informações disponíveis [6, 7].

**Tabela1:** Recomendações sobre os limites máximos permissíveis de radiação para trabalhadores.

Ano	País	Recomendação	Recomendação (mSv/ano)
1924	França	4.000 R/ano	40.000
1924	Grã-Bretanha	0,7 R/dia	2.520
1925	ICRU*	0,1dose eritema ** /ano	500 – 1.000
1925	Suécia	0,1 dose eritema/ano	500 – 1.000
1934	ICRP***	0,2 R/dia	730
1934	Grã-Bretanha	1,0 R/semana	520
1935	NCRP****	0,1 R/dia	360
1947	Grã-Bretanha	0,5 R/semana	260
1947	NCRP	0,3 R/semana	150
1950	ICRP	0,3 R/semana	150
1956	ICRP	5 rem/ano	50
1957	NCRP	5 rem/ano	50
1973	CNEN	5 rem/ano	50
1977	ICRP	50 mSv/ano*****	50

\* ICRU = Comissão Internacional de Unidades e Medidas da Radiação.

\*\* dose eritema = é a dose que causa queimadura leve na pele.

\*\*\* ICRP = Comissão Internacional de Proteção Radiológica.

\*\*\*\* Considerando irradiação no corpo todo, para efeitos estocásticos.

FONTE : Okuno[5]

### Legislação Atual de Proteção Radiológica

A legislação atual de Proteção Radiológica estabelece suas recomendações e orientações considerando os Princípios Fundamentais de Proteção Radiológica:

- Justificação;
- Otimização;
- Limitação de Dose;
- Prevenção de Acidente.

## **Justificação**

A *justificação* é um princípio básico de proteção radiológica que estabelece que nenhuma prática deva ser autorizada a menos que produza benefício para o indivíduo exposto ou para a sociedade, de modo a compensar o dano que possa ser causado, considerando que a exposição médica deve resultar em um benefício real para a saúde do indivíduo e/ou sociedade, tendo em conta a totalidade dos benefícios potenciais em matéria de diagnóstico ou terapêutica que dela decorram, em comparação com o dano que possa ser causado pela radiação ao indivíduo.

Segundo o item 2.3 da Portaria 453 do Ministério da Saúde o princípio da justificação em medicina e odontologia deve ser aplicado considerando [10]:

- a) Que a exposição médica deve resultar em um benefício real para a saúde do indivíduo e/ou para sociedade, tendo em conta a totalidade dos benefícios potenciais em matéria de diagnóstico ou terapêutica que dela decorram, em comparação com o detrimento que possa ser causado pela radiação ao indivíduo.*
- b) A eficácia, os benefícios e riscos de técnicas alternativas disponíveis com o mesmo objetivo, mas que envolvam menos ou nenhuma exposição a radiações ionizantes.*

O princípio de proteção radiológica da justificação é dividido em dois níveis (justificação genérica da prática e justificação da exposição individual do paciente em consideração) os quais foram descritos e apresentados no item 2.4 da Portaria 453 [10]:

- a) justificação genérica;*
  - (i) todos os novos tipos de práticas que envolvam exposições médicas devem ser previamente justificados antes de serem adotadas em geral;*
  - (ii) os tipos existentes de práticas devem ser revistos sempre que se adquiram novos dados significativos acerca de sua eficácia ou de suas conseqüências;*
- b) justificação da exposição individual;*
  - (i) todas as exposições médicas devem ser justificadas individualmente, tendo em conta os objetivos específicos da exposição e as características do indivíduo envolvido.*

Considerando os princípios fundamentais da justificação no item 2.5 da mesma portaria fica proibida toda exposição à radiação ionizante que não possa ser justificada, incluindo [10]:

- a) *Exposição deliberada de seres humanos aos raios-x diagnósticos com o objetivo único de demonstração, treinamento ou outros fins que contrariem o princípio da justificação.*
- b) *Exames radiológicos para fins empregatícios ou periciais, exceto quando as informações a serem obtidas possam ser úteis à saúde do indivíduo examinado, ou para melhorar o estado de saúde da população.*
- c) *Exames radiológicos para rastreamento em massa de grupos populacionais, exceto quando o Ministério da Saúde julgar que as vantagens esperadas para os indivíduos examinados e para a população são suficientes para compensar o custo econômico e social, incluindo o detrimento radiológico. Deve-se levar em conta, também, o potencial de detecção de doenças e a probabilidade de tratamento efetivo dos casos detectados.*
- d) *Exposição de seres humanos para fins de pesquisa biomédica, exceto quando estiver de acordo com a Declaração de Helsinque, adotada pela 18ª Assembléia Mundial da OMS de 1964; revisada em 1975 na 29ª Assembléia, em 1983 na 35ª Assembléia e em 1989 na 41ª Assembléia, devendo ainda estar de acordo com resoluções específicas do Conselho Nacional de Saúde.*
- e) *Exames de rotina de tórax para fins de internação hospitalar, exceto quando houver justificativa no contexto clínico, considerando-se os métodos alternativos.*

## **Otimização**

O princípio da *otimização* estabelece que as instalações e práticas devam ser planejadas, implantadas e executadas de modo que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de exposição acidentais sejam tão baixos quanto razoavelmente exequíveis, levando-se em conta fatores sociais e econômicos, além de restrições de doses aplicáveis.

Considerando o conceito apresentado acima a Portaria 453 do Ministério da Saúde estabelece nos itens 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10 [10]:

- 2.7 *A otimização da proteção deve ser aplicada em dois níveis, nos projetos e construções de equipamentos e instalações, e nos procedimentos de trabalho.*
- 2.8 *No emprego das radiações em medicina e odontologia, deve-se dar ênfase à otimização da proteção nos procedimentos de trabalho, por possuir uma influência direta na qualidade e segurança da assistência aos pacientes.*
- 2.9 *As exposições médicas de pacientes devem ser otimizadas ao valor mínimo necessário para obtenção do objetivo radiológico (diagnóstico e terapêutico), compatível com os padrões aceitáveis de qualidade de imagem. Para tanto, no processo de otimização de exposições médicas deve-se considerar:*
  - a) *A seleção adequada do equipamento e acessórios.*
  - b) *Os procedimentos de trabalho.*
  - c) *A garantia da qualidade.*
  - d) *Os níveis de referência de radiodiagnóstico para pacientes.*
  - e) *As restrições de dose para indivíduo que colabore, conscientemente e*

*de livre vontade, fora do contexto de sua atividade profissional, no apoio e conforto de um paciente, durante a realização do procedimento radiológico.*

*2.10 As exposições ocupacionais e as exposições do público decorrentes das práticas de radiodiagnóstico devem ser otimizadas a um valor tão baixo quanto exequível, observando-se:*

*a) As restrições de dose estabelecidas neste Regulamento.*

*b) O coeficiente monetário por unidade de dose coletiva estabelecido pela Resolução CNEN n.º 12, de 19/07/88, quando se tratar de processos quantitativos de otimização.*

Com esse objetivo, a ICRP – 60 publicada em 1990 (International Commission on Radiological Protection – 60) [8] apresentou diversos conceitos que compõem uma estrutura básica de proteção radiológica, a fim de prevenir o surgimento de efeitos determinísticos e assegurar também as providências que reduzem a possibilidade de indução dos efeitos estocásticos.

A ICRP inclui os julgamentos científicos como sociais, presume que mesmo pequenas doses de radiação podem produzir efeitos deletérios à saúde, considera que os efeitos determinísticos podem ser evitados restringindo-se as doses nos indivíduos a valores menores que limiares definidos e que os efeitos estocásticos, que não possuem limiares, podem ter sua indução reduzida ao assegurar-se que todas as providências razoáveis tenham sido tomadas [8].

As recomendações de proteção radiológica apresentadas pela ICRP possibilitam a realização de procedimentos associados a um benefício líquido de uma prática para o indivíduo como para a sociedade. Elas são baseadas em um modelo estrutural que considera os processos causadores de exposição ao homem como parte de uma rede de eventos e situações. Nesta rede estão envolvidos a fonte, o caminho e o indivíduo.

A fonte de exposição pode ser tanto uma unidade geradora de radiação como uma instalação. A radiação ou o material radioativo passa através do caminho, que pode ser simples, no local de trabalho, ou muito complexo, no ambiente natural. Os indivíduos são aqueles expostos à radiação de uma ou mais fontes, através do caminho.

Podemos classificar as exposições em *ocupacionais, médicas e públicas*.

A *exposição ocupacional* é a exposição de um indivíduo em decorrência de seu trabalho em práticas autorizadas. Trabalhadores expostos à radiação significaria que todos os trabalhadores deveriam estar sujeitos a um programa de

proteção radiológica. Para evitar esta abrangência, a ICRP limita o termo “exposição ocupacional” às exposições que ocorrem no trabalho, como resultado de situações que podem ser consideradas responsabilidade de uma gerência de operação. Para algumas situações específicas de exposições às fontes naturais, a ICRP recomenda considerá-las como exposições médicas, qualquer exposição decorrente delas deve ser também considerada como ocupacional, a menos que as fontes tenham sido excluídas formalmente do controle da agência reguladora.

As *exposições médicas* são exposições a que são submetidos:

- a) pacientes, em decorrência de exames ou tratamentos médicos ou odontológicos;
- b) indivíduos não ocupacionalmente expostos que voluntariamente ajudam a confortar ou conter pacientes durante o procedimento radiológico (acompanhantes, geralmente, familiares ou amigos próximos);
- c) indivíduos voluntários em programas de pesquisa médica ou biomédica e que não proporciona qualquer benefício direto aos mesmos.

As *exposições públicas* abrangem todas as exposições que não são ocupacionais ou médicas. A maior componente de exposição pública é, sem dúvida, a exposição às fontes naturais de radiação [10].

## **Limites de Doses**

Os limites de dose aplicáveis para exposição ocupacional são necessários para o controle ocupacional das exposições, tanto para impor um limite dosimétrico de referência como para assegurar a proteção frente a erros de avaliação.

Considerando o conceito apresentado acima a Portaria 453 do Ministério da Saúde estabelece nos itens 2.11, 2.12, 2.13 e 2.14 [10]:

*2.11 Os limites de doses individuais são valores de dose efetiva ou de dose equivalente, estabelecidos para exposição ocupacional e exposição do público decorrentes de práticas controladas, cujas magnitudes não devem ser excedidas.*

*2.12 Os limites de dose:*

- a) Incidem sobre o indivíduo, considerando a totalidade das exposições decorrentes de todas as práticas a que ele possa estar exposto.*
- b) Não se aplicam às exposições médicas.*
- c) Não devem ser considerados como uma fronteira entre "seguro" e "perigoso".*

d) Não devem ser utilizados como objetivo nos projetos de blindagem ou para avaliação de conformidade em levantamentos radiométricos.

e) Não são relevantes para as exposições potenciais.

#### 2.13 Exposições ocupacionais

a) As exposições ocupacionais normais de cada indivíduo, decorrentes de todas as práticas, devem ser controladas de modo que os valores dos limites estabelecidos na Resolução CNEN n.º 12/88 não sejam excedidos. Nas práticas abrangidas por este Regulamento, o controle deve ser realizado da seguinte forma:

(i) a dose efetiva média anual não deve exceder 20 mSv em qualquer período de 5 anos consecutivos, não podendo exceder 50 mSv em nenhum ano.

(ii) a dose equivalente anual não deve exceder 500 mSv para extremidades e 150 mSv para o cristalino.

b) Para mulheres grávidas devem ser observados os seguintes requisitos adicionais, de modo a proteger o embrião ou feto:

(i) a gravidez deve ser notificada ao titular do serviço tão logo seja constatada;

(ii) as condições de trabalho devem ser revistas para garantir que a dose na superfície do abdômen não exceda 2 mSv durante todo o período restante da gravidez, tornando pouco provável que a dose adicional no embrião ou feto exceda cerca de 1 mSv neste período.

c) Menores de 18 anos não podem trabalhar com raios-x diagnósticos, exceto em treinamentos.

d) Para estudantes com idade entre 16 e 18 anos, em estágio de treinamento profissional, as exposições devem ser controladas de modo que os seguintes valores não sejam excedidos:

(i) dose efetiva anual de 6 mSv ;

(ii) dose equivalente anual de 150 mSv para extremidades e 50 mSv para o cristalino.

e) É proibida a exposição ocupacional de menores de 16 anos.

2.14 As exposições normais de indivíduos do público decorrentes de todas as práticas devem ser restringidas de modo que a dose efetiva anual não exceda 1 mSv.

O objetivo pretendido pela Portaria 453 fixando estes limites de dose é estabelecer, para um conjunto definido de práticas, para uma exposição regular e contínua, um nível de dose de referência cujas consequências produzidas no indivíduo são consideradas normais. No passado, a ICRP utilizava a probabilidade de morte ou a possibilidade de modificações genéticas graves como base para julgar as consequências de uma exposição.

O valor de referência estará sujeito sempre a conselho médico em casos individuais. Não será necessário aplicar nenhuma restrição especial para exposição de um indivíduo posteriormente a um período de controle em que sua exposição havia excedido o limite de dose. Mas os exames periódicos realizados no indivíduo deverão ser cuidadosamente analisados, se houver desconfiança da dose ou suspeita de que possa ser alta, o caso deve ser remetido a um médico [8].

Os limites de dose recomendados deverão ser aplicados a todos os tipos de exposições ocupacionais. A ICRP concorda com outros valores de dose definidos por autoridades reguladoras nacionais quando são utilizados provisoriamente limites mais altos. Os limites são apenas uma parte do sistema de proteção radiológica destinado a conseguir níveis de dose tão baixos quanto razoavelmente exequíveis, levando em conta fatores econômicos e sociais. As restrições aplicadas à dose efetiva são suficientes para assegurar a ausência de efeitos determinísticos nos tecidos e órgãos do corpo, exceto o cristalino e a pele que podem estar sujeitos a exposições localizadas [11].

### **Prevenção de Acidentes**

O último princípio de Proteção Radiológica apresentado pela legislação nacional é o Princípio de Prevenção de Acidente. Este princípio parte do conceito que toda exposição à radiação ionizante deva estar relacionada com um benefício ao paciente e/ou à sociedade. Sendo assim, a possibilidade de realização de uma exposição acidental deve ser evitada. Exposição acidental é aquela exposição involuntária e imprevisível ocorrida em condições de acidente.

Considerando o conceito apresentado acima a Portaria 453 do Ministério da Saúde estabelece nos itens 2.15 e 2.16:

*2.15 No projeto e operação de equipamentos e de instalações deve-se minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes (exposições potenciais).*

*2.16 Deve-se desenvolver os meios e implementar as ações necessárias para minimizar a contribuição de erros humanos que levem à ocorrência de exposições acidentais.*

### **Unidades de Medida das Radiações**

Quando da interação da radiação com a matéria, a radiação produz ionização e/ou excitação dos seus átomos e moléculas, ao transferir parte de toda de sua energia para o meio que ela atravessa. Essa quantidade de energia absorvida pelo meio material dependerá da qualidade e da quantidade da radiação incidente.

Com aumento do uso das radiações ionizante na indústria e na medicina foi necessário o estabelecimento de um sistema de grandezas físicas coerente capaz

de quantificar e qualificar sua presença como também avaliar os danos biológicos provocados pela radiação.

## **Grandeza Radiométricas**

### **Exposição**

Exposição foi a primeira grandeza introduzida nessa área específica da Física, Física das Radiações. Em 1928 ela foi definida de uma forma muito confusa, mas em 1962 a exposição foi definida como uma grandeza que caracteriza o feixe de Raios X e gama, válida somente para radiação eletromagnética, e mede a quantidade de carga elétrica (íons e elétrons) produzida em uma certa massa de ar.

Essa grandeza física é representada por **X** e é definida como o quociente de **dQ** por **dm**, onde **dQ** é o valor absoluto de todas as cargas elétricas de um mesmo sinal gerada em uma certa massa **dm** [2].

$$X = dQ/dm$$

A unidade de exposição é o Röntgen com o símbolo (R) cuja definição no Sistema Internacional é o coulomb por quilograma (C/kg), sendo que  $1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$ . Uma exposição típica para radiografar um abdômen é de 0,15 mC/kg, que corresponde a 0,6 R.

### **Dose Absorvida**

Considerando que a grandeza exposição é válida somente para ionização no ar, conseqüentemente ela não era apropriada para medir a quantidade de radiação absorvida por uma parte do corpo ou por outra matéria que não o ar. Sendo assim, em 1950, foi introduzida uma nova grandeza que veio a se somar à grandeza exposição, a dose absorvida, que é definida como a energia média cedida pela radiação ionizante à matéria por unidade de massa.

Ao contrário da exposição, essa grandeza é definida para qualquer tipo de radiação ionizante e para qualquer meio. Sua unidade de medida, inicialmente, foi o rad, definida de tal forma que uma exposição de 1R à radiação X ou gama produzisse em uma dose absorvida pelo tecido mole de aproximadamente 1 rad, sendo  $1 rad = 0,01 J/kg$ . Em 1975, o rad foi substituído por uma nova unidade no

Sistema Internacional, o gray (Gy), sendo que  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$  [2].

A dose absorvida é representada por  $D_A$ , sendo definida como o quociente de  $dE$  por  $dm$ , onde  $dE$  é a energia média cedida pela radiação ionizante à uma massa  $dm$  da matéria, ou seja:

$$D_A = dE / dm$$

### **Dose Equivalente**

Sabendo que a dose absorvida não leva em consideração o tipo de radiação e que o número de ionizações depende do tipo de radiação, a introdução de uma nova grandeza específica para proteção radiológica era essencial. Em 1962, uma grandeza especial foi proposta, esta calculada multiplicando-se a dose absorvida por um fator numérico, adimensional, chamado fator de qualidade. O fator de qualidade associado a partículas considera o número de ionizações [2]. O número de ionizações produzida pelos prótons, nêutrons, partículas alfa e íons mais pesados é 25 vezes superior ao dano biológico produzido pelos raios X, gama e elétrons (25 vezes é o fator de qualidade destas partículas), enquanto que para os raios beta recomenda-se um fator de qualidade de 2.

Em 1979, a dose equivalente teve sua unidade de medida substituída (Sistema Internacional), o rem foi trocado pelo sievert (Sv), sendo  $1 \text{ Sv} = (1\text{Gy})(\text{fator de qualidade}) = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rem}$ . Como exemplo, podemos informar que a dose equivalente anual a que uma pessoa está submetida, devido à radiação natural, é em média da ordem de  $1 \text{ mSv} = 100 \text{ mrem}$ .

A dose equivalente não tem o caráter essencialmente experimental das demais unidades, pois, além de considerar a energia absorvida que pode ser medida experimentalmente, considera fatores como o tipo de radiação, a energia e a distribuição de radiação no tecido, para poder inferir os possíveis danos biológicos [2].

Considerando as informações dadas acima podemos apresentar de forma resumida:

$$D_{Eq} = D_A \cdot Q$$

Onde:

**$D_{Eq}$  = Dose equivalente;**

**$D_A =$  Dose absorvida;**

**$Q =$  Fator de qualidade.**

### **Dose Efetiva**

A dose efetiva ( $D_E$ ) é útil na avaliação do dano biológico decorrente de exposição humana à radiação ionizante. A dose efetiva não pode ser medida diretamente, podemos defini-la como a média ponderada das doses equivalentes nos diversos órgãos. Os fatores de ponderação dos tecidos foram determinados de tal modo que a dose efetiva represente o mesmo detrimento de uma exposição uniforme de corpo inteiro. O valor final da dose efetiva é obtido pelo somatório do produto entre a dose absorvida média, em cada um dos órgãos ou tecidos de interesse, o fator de qualidade da radiação e do fator de peso para órgãos ou tecido [2].

$$D_E = D_{Eq} \omega_R$$

Onde:

**$D_E =$  Dose efetiva (Sv);**

**$\omega_R =$  Fator de peso para órgão ou tecido (adimensional);**

**$D_H =$  Dose equivalente no órgão ou tecido (Sv).**

No cálculo da dose efetiva pela ICRP - 100, apenas os cinco órgãos de maior radiosensibilidade são levados em conta. Este modelo possui limitações, seja quanto ao restante dos órgãos, seja quanto à distribuição de sexo e idade das pessoas irradiadas.

Para contornar o problema dos órgãos, a ICRP - 60 fornece novas indicações para seis órgãos e como já fazia a ICRP - 26, o fator de relativo de risco para os tecidos restantes, diminuindo essa limitação.

### **Técnicas para estimar Dose Efetiva**

Em exposições médicas, como no caso de um paciente submetido a um procedimento de Raios X de tórax, o sistema de limitação de doses permanece o mesmo, porém não totalmente. As exposições desnecessárias devem ser evitadas e as exposições necessárias devem ser justificadas pelo benefício do procedimento. A dose administrada deve limitar-se à quantidade mínima

necessária para produzir uma boa imagem, ainda que não se aplique um limite de dose individual.

A quantificação da dose absorvida num órgão ou tecido, resultante de um procedimento de diagnóstico comum, pode ser obtida por diversas técnicas. Em uma delas, experimental, são empregados pequenos dosímetros posicionados diretamente nas regiões de interesse, internamente ou externamente, em um fantoma antropomórfico<sup>5</sup>. Essa técnica pode ser utilizada também, em menor extensão, em pacientes reais, medindo, por exemplo, a dose na entrada da pele [2].

A avaliação não experimental é hoje uma realidade bem estabelecida, empregando-se fantasmas matemáticos e realizando simulações computacionais pelo método de Monte Carlo. Assim, é construído um modelo computacional, geométrico, humano, tridimensional, masculino ou feminino, constituído internamente de órgão cujas informações anatômicas e fisiológicas são predefinidas. Sobre este modelo se faz a simulação da incidência, do espalhamento e da absorção do feixe de radiação, obtendo como resultado a fração da energia depositada nos diversos órgãos ou tecidos de interesse em relação à quantidade de radiação presente na superfície de entrada, no centro do campo, chamada “dose de entrada na superfície” – DES. Este método fornece o resultado com exatidão adequada para efeitos de proteção radiológica.

## **N - EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE**

Um feixe de radiação ionizante, ao interagir com material biológico, necessariamente modifica átomos e moléculas, essas modificações normalmente são passageiras, mas eventualmente danificam as células. Se o dano celular ocorre e não é adequadamente reparado, a célula pode permanecer viva, no entanto é modificada; este é o efeito denominado estocástico. De outra forma, se a célula danificada é impedida de viver ou reproduzir-se, isto pode originar um tipo de efeito chamado determinístico. Todos os efeitos biológicos decorrentes de

---

<sup>5</sup> Um fantoma é um simulador de paciente.

exposição à radiação são classificados em um desses dois segmentos.

O corpo humano contém aproximadamente 75 trilhões de células. Nas células se encontram os cromossomos que são estruturas nucleares filamentosas, formados essencialmente pela molécula de ácido desoxirribonucléico (DNA). A molécula de DNA contém os genes que se dispõem linearmente nos cromossomos e são os responsáveis pelas informações genéticas. As informações genéticas são armazenadas e transportadas de uma célula para outra e de uma geração para outra. As variações nas estruturas moleculares dos genes, as variações no número ou da estrutura dos cromossomos são denominadas mutações. Não podemos distinguir uma mutação induzida por um agente externo de uma mutação “espontânea”, e, como esta pode ser somática, não se transmitindo aos descendentes da pessoa irradiada, ao contrário da mutação germinal que ocorre em células da linhagem germinal, podendo passar para as gerações futuras [11].

A exposição do organismo à radiação ionizante pode resultar tanto a morte do organismo como a indução de mutação em seu material genético. Ao irradiar o corpo inteiro de uma pessoa a uma dose equivalente entre 3 e 5 Sv ocorrerão centenas de quebras nas moléculas de DNA de cada célula do corpo. Normalmente as mutações estão condicionadas a características indesejáveis. Cabe ressaltar que muitas das alterações induzidas no DNA são reparadas por mecanismos especiais existentes no interior das células.

Para determinar os efeitos biológicos em um indivíduo devem ser levadas em consideração as características desse indivíduo, tais como sexo, idade, estado geral de saúde, predisposição a algum tipo de enfermidade, etc. Assim, podemos quantificar o impacto de exposição à radiação ionizante sobre uma população ou grupo populacional, envolvendo distribuição de sexo e idade, índices de mortalidade, oferta de serviços de saúde, assentamentos das ocorrências de casos de câncer e diversos outros fatores sociais, como hábitos ou qualidade de vida.

As reações causadas pelas radiações ionizantes podem ser descritas em quatro estágios:

O primeiro estágio tem uma duração muito pequena, da ordem de um quadrilionésimo de segundo, após radiação. Nesse estágio ocorre o fenômeno

físico da ionização e da excitação de átomos do corpo humano com a absorção de energia da radiação. Na ionização o elétron é ejetado do átomo e na excitação o elétron ganha energia passando a uma órbita mais energética [11].

No segundo estágio, chamado físico – químico, as ligações químicas das moléculas são rompidas com a formação de radicais livres. Esse estágio tem uma duração também curta de, aproximadamente, um milionésimo de segundo.

No terceiro estágio a duração é maior, elevada para alguns segundos, e é caracterizado por ser um estágio químico. Os radicais livres formados anteriormente ligam-se a moléculas importantes da célula, tais como as proteínas, as enzimas ou, no pior caso, as moléculas de DNA, danificando-as. As vitaminas C ou E podem liberar facilmente elétrons que desativam os radicais livres. Além disso, os corpos possuem maneiras para recompor moléculas lesadas pelos radicais livres.

Não podemos impedir que todos os radicais livres produzam algum dano e nem todos os danos resultantes podem ser reparados, conseqüentemente os danos vão se acumulando no organismo.

No quarto estágio ocorrem efeitos bioquímicos e fisiológicos, produzindo alterações morfológicas e/ou funcionais. Sua duração é variável, desde horas até anos.

Dois são os mecanismos pelos os quais a radiação ionizante pode lesar uma molécula: o direto e o indireto. No mecanismo direto a radiação age diretamente sobre uma biomolécula importante, tal como a de DNA, danificando o material genético. No mecanismo indireto, as moléculas como a da água, que constituem cerca de 70 % das células, são quebradas pela radiação. Seus produtos, o radical livre hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ) e o produto oxidante peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), comumente conhecido como água oxigenada, são muito eficientes em produzir danos biológicos, ao atacar biomoléculas importantes da célula.

Em resumo, quando a radiação passa através do corpo humano, quatro tipos de eventos podem ocorrer:

- a radiação passa próximo ou através da célula sem produzir dano;
- a radiação danifica a célula, mas ela é reparada adequadamente,
- a radiação mata a célula ou a torna incapaz de se reproduzir;

- o núcleo da célula é lesado, sem, no entanto, provocar morte celular. A célula sobrevive e se reproduz na sua forma modificada, podendo-se diagnosticar, anos mais tarde, células malignas nesse local.

### **Efeitos Determinísticos e Estocásticos**

Os efeitos somáticos são divididos em determinísticos (agudos) ou estocásticos (tardios), dependendo do tempo de manifestação dos efeitos, que é função da dose absorvida, isto é, quando maior a dose, menor é o intervalo de tempo entre a exposição e o aparecimento de efeito [11].

### **Efeitos Determinísticos**

São observáveis em horas, dias ou semanas após a exposição do indivíduo a uma alta dose de radiação em um pequeno intervalo de tempo. Considerando uma dose de 1 Gy, é verificada a ocorrência de vômito em 5% das pessoas irradiadas dentro de 3 horas. Uma moderada leucopenia (diminuição dos glóbulos brancos do sangue). Para uma dose no corpo total de 3 Gy o vômito aparece em 100% dos casos em um intervalo de 2 horas, sendo o principal órgão afetado o tecido hematopoético (formador de sangue). Uma dose de 4 Gy é chamada de dose letal pois mata 50 % das pessoas que sofreram irradiação no corpo todo, em 30 dias. Com valores de 6 e 8 Gy (doses absorvidas) são verificados sérios problemas gastrintestinais, com pouquíssima chance de sobrevivência.

O limiar de dose é uma das características mais importante dos efeitos determinísticos. Com o acidente de Chernobyl, muitos médicos aprenderam como tratar a dose letal. O controle do desequilíbrio hidroeletrólítico é feito administrando-se eletrólitos e solução salina e em caso de hemorragia, injetam-se plaquetas. A terapia para efeitos associados a altas doses também está focada no combate das infecções controlando-as por intermédio de antibióticos, antimicóticos, antivirais, gamaglobulinas humanas, concentrados de linfócitos e granulócitos. Os pacientes devem ficar em locais altamente esterilizados onde é limitado o acesso de visitas, a fim de evitar que estas contaminem as pessoas irradiadas [11].

### **Efeitos Estocásticos (somáticos tardios):**

Aparecem em pessoas expostas a baixas doses em um longo intervalo de tempo, ou em pessoas que receberam dose alta não letal. Os efeitos biológicos relacionados são: câncer e lesões degenerativas, como anemia perniciosa aplástica, causa da morte de Madame Curie, e são de natureza estocástica ou probabilística, ou seja, não aparecerão em todas as pessoas expostas. Cabe ressaltar que não existe uma enfermidade específica ligada aos efeitos tardios da radiação. O que se verifica é um aumento na incidência de certas doenças em relação à incidência normal e, portanto toda a análise é feita estatisticamente.

A leucemia é o câncer mais estudado por possuir um tempo de latência menor quando comparamos com outros tipos de cânceres. O tempo de latência da leucemia é de aproximadamente 2 anos após a exposição, atinge um máximo ao redor de 6 anos e cai praticamente a zero após 25 anos. Outros tipos de câncer surgem, geralmente, a partir de 10 anos após a irradiação; em Hiroxima e Nagasáqui, 40 anos após as explosões, o número de casos de leucemia já é igual ao de outras cidades japonesas, porém a incidência de outros tipos de câncer continua aumentando [11].

Não foi detectada uma relação entre exposição e a mortalidade devido a qualquer outro tipo de câncer, mortalidades congênitas visíveis, crescimento e desenvolvimento de outras doenças hereditárias que não a síndrome de Dawn, mortalidade infantil, longevidade, nascimentos múltiplos e taxa de aborto espontâneo. A fase embrionária está mais sujeita os efeitos somáticos, que podem causar malformação física ou mental congênita ou ainda propiciar a criança a ter asma, bronquite ou mesmo leucemia. Em exposição de fetos ou embrião com dose superior a 0,1 Gy, o aborto terapêutico é recomendado. Para dose absorvida entre 0,01 e 0,1 Gy, o aborto é recomendado, dependendo se há algum outro agravante ou não.

As células, por sua vez, apresentam diferentes sensibilidades aos efeitos somáticos da radiação ionizante, dependendo do tipo e da fase de seu ciclo de reprodução. Células em divisão, ou as que são metabolicamente ativas, ou, ainda, as que se reproduzem rapidamente, tais como as células brancas do sangue, são mais sensíveis que aquelas altamente diferenciadas como as dos músculos, ossos e tecido nervoso [11].

## **CONCLUSÃO**

Este material de apoio destina-se ao professor e ao aluno do curso técnico em radiodiagnóstico, com a intenção de oferecer um material de consulta qualificado a respeito da Física das Radiações, mostrando que tópicos de Física Contemporânea podem ser abordados e discutidos de uma maneira não complicada. E é o fato de ser um material simples que acreditamos na possibilidade da utilização deste em salas de aula por professores e alunos do Ensino Médio.

Outra consequência positiva no desenvolvimento deste trabalho com os estudantes é a oportunidade apresentar o processo de produção científica e tecnológica. Também lembramos que grande parte dos tópicos desenvolvidos no material de apoio está relacionada com a vida cotidiana como a realização de procedimentos de diagnóstico por imagem ou até mesmo procedimentos terapêuticos que fazem uso de radiações ionizantes.

Acreditamos também que muitos esclarecimentos a respeito de Física das Radiações relacionadas com concepções alternativas podem ser facilitados com a utilização do material de apoio.

Ao final podemos concluir que a utilização deste texto pode contribuir para formação inicial de alunos do curso técnico em radiologia, pois os conteúdos foram desenvolvidos de forma elementar e dimensionados para atividades relacionadas com sua futura área de atuação além de ser adaptada a sua realidade cotidiana.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. **Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico Odontológico**. In: Diário Oficial da União, Brasília, nº 453, 1 jun. 1998.
- [2] BROWN, B. H.; SMALLWOOD, R. H.; BARBER, D. C. **Medical Physics and Biomedical Engineering**. 1. ed. USA. Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia. 1999. 736 p.
- [3] BUSHONG, S. E. **Manual de Radiologia para Técnicos – Física, Biología y Protección Radiológica**. 6ª edição. Texas: HARCOURT, 1999. 586p.
- [4] CARLTON, R. R.; ADLER, A. M.; **Principles of Radiographic Imaging**. 3ª edição. Arkansas: Na Art and a Science, 2001. 741p.
- [5] CURRY, T. S.; DOWDEY, R. C. **Christensen's Physics of Diagnostic Radiology**. 4ª edição. Philadelphia: Lea & Febiger, 1990. 522p.
- [6] HALL, J. E. **Radiobiology for the Radiologist**. 5ª edição. New York: lippincott Williams & Wilkins, 2000. 588p.
- [7] JOHNS, S. E.; CUNNINGHAM, J. R. **The physics of Radiology**. 1. ed. USA. Thomas Books. 1983. 796 p.
- [8] OKUNO, E. **Física Para Ciências Biológicas e Biomédicas**. 1ª edição. São Paulo: HARBRA, 1982. 490p.
- [9] OSTERMANN, F. **Texto de Apoio ao Professor de Física – Nº 12**. 1ª edição. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 74p.
- [10] PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE - PSSC. **Física I**. 2ª edição. São Paulo: EDART – Livraria Editora Ltda, 1966. 230p.
- [11] PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE - PSSC. **Física IV**. 1ª edição. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1967. 262p.

[12] ROCHA, F. J.; PONCZCK, I. L. R. **Origens e Evolução das Idéias da Física**. 1<sup>a</sup> edição. Salvador: EDUFRA, 2002. 372p.

[13] WOLBARST, A. B.; COOK, W. I. **Physics of Radiology**. 1 edição. Boston: Elizabeth Ryan, 1993. 461p.

[14] AXT, R.; BRÜCKMANN, M. E. O Conceito de Calor nos Livros de Ciências. **Caderno Catarinense para o Ensino de Física**, Brasil, v.6, n2, p. 128-142. 1998.